

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**КУЗНЄЦОВА НАТАЛІЯ ВОЛОДИМИРІВНА**



УДК 303.732.4, 519.816

**МЕТОДИ І МОДЕЛІ АНАЛІЗУ, ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ  
РИЗИКІВ У ФІНАНСОВИХ СИСТЕМАХ**

**01.05.04 – Системний аналіз і теорія оптимальних рішень**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук**

**Київ – 2019**

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Інституті прикладного системного аналізу Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор  
**Бідюк Петро Іванович**,  
Інститут прикладного системного аналізу Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, професор кафедри математичних методів системного аналізу.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Яценко Віталій Олексійович**,  
Інститут космічних досліджень НАН України та Національного космічного агентства України, завідувач відділу дистанційних методів та перспективних приладів;

доктор технічних наук, професор  
**Положаєнко Сергій Анатолійович**,  
Одеський національний політехнічний університет, завідувач кафедри комп’ютеризованих систем управління;

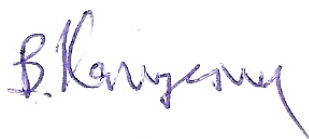
доктор технічних наук, професор  
**Корабльов Микола Михайлович**,  
Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри електронних обчислювальних машин.

Захист відбудеться “12” березня 2019 р. о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.03 в Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” за адресою: 03056, Київ, просп. Перемоги, 37, корп. 35, ауд. 001.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” за адресою: 03056 м. Київ, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розіслано “5” лютого 2019 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої Вченої ради Д 26.002.03



В.О. Капустян

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У сучасному світі розвиток промисловості, соціальних, економічних та фінансових систем суттєво залежить від здатності адекватно оцінювати і прогнозувати ризики та пов'язані з ними втрати. Ризик – це властивість, притаманна будь-яким видам діяльності, яка описує множинну зміну стійкості системи і проявляється у вигляді ймовірнісної невизначеності реалізації її цільових функцій. Різноманітність множини факторів ризиків та їх проявів, вартість засобів та недостатня швидкість процедур оцінювання ризиків ускладнюють можливість їх ефективного опрацювання. Значними практичними проблемами сьогодні є відсутність достатньої статистичної інформації, науково обґрунтованих рекомендацій для оцінювання і зменшення ризиків, складність формалізації задачі аналізу, недостатність математичного апарату для прогнозування ризиків, недосконалість існуючих систем підтримки прийняття управлінських рішень у ризиковій ситуації. Успішність управління фінансовими системами суттєво залежить від якості оцінювання і прогнозування фінансових ризиків. Фінансові ризики (ФР) – це ймовірність виникнення фінансових наслідків в ситуації невизначеності умов функціонування фінансових систем, вони тісно пов'язані з інформаційними і предметними ризиками різних сфер діяльності.

Існуючі підходи до оцінювання ризиків не враховують потреби аналітиків, експертів та осіб, які приймають рішення (ОПР), у якісній, достовірній, оперативній і точній інформації; вплив невизначеностей різних типів; неточність та неповноту як вхідних даних, так і критеріїв оцінювання.

Для розв'язання зазначених наукомістких проблем у дисертації розроблена системна методологія, яка ґрунтується на комплексному використанні ідеологічно різних математичних моделей, методів інтелектуального аналізу даних (ІАД) для оцінювання і прогнозування ризиків, і створення на її основі інформаційних технологій для підтримки прийняття рішень. Задача створення нової методології дослідження ФР та розробки інтегральних методів аналізу даних у рамках єдиної технології моніторингу та менеджменту ризиків є, безумовно, актуальною.

Запропонована у роботі методологія системного підходу до аналізу, оцінювання та прогнозування ФР спирається на дослідження та теоретичні напрацювання вітчизняних та зарубіжних вчених: методологія системного підходу розроблена і викладена у роботах М. З. Згуровського, Н. Д. Панкратової, В. М. Кунцевича, В. Д. Романенка, В. Я. Данилова; особливості фінансового ризик-менеджменту розглянуто у роботах О. В. Чугунова, О. А. Лобанова, В. В. Вітлінського; моделювання ризиків висвітлено у роботах В. О. Яценка, В. О. Капустяна, А. Б. Камінського, Т. А. Говорушко; математичному моделюванню і аналізу фінансових процесів присвячені роботи Г. Марковіца, М. Шоулса, Р. Мертон, С. А. Положаєнка, В. М. Подладчікова; ймовірнісний підхід до аналізу даних закладений у роботах Т. Байеса, П. Лапласа, Дж. Перла, А. Л. Тулуп'єва; нелінійному аналізу даних присвячені роботи В. С. Мельника, П. О. Касьянова, Я. Г. Гоойера; формалізація невизначеності, аналіз нечітких даних запропоновані у роботах Л. Заде, Е. Мамдані, М. Сугено, Ю. П. Зайченка, В. Є. Снитюка, Є. В.

Бодянського; моделі теорії виживання описані Д. Коксом, Е. Капланом, П. Мейером, М. Степановою, С. Гланцем; розробка інформаційних технологій та систем підтримки прийняття рішень для фінансових систем виконується С. Ф. Телеником, М. М. Корабльовим, О. П. Гожим та іншими вченими.

Підвищення ефективності аналізу, оцінювання та прогнозування ризиків фінансових систем шляхом створення системної методології дослідження ФР та розробки єдиної інформаційної технології моніторингу і менеджменту ризиків для забезпечення їх мінімізації є важливою науково-прикладною проблемою.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертаційної роботи відповідає науковим напрямам Інституту прикладного системного аналізу (ІПСА) Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (КПІ ім. Ігоря Сікорського), зокрема дослідженням систем і методів прийняття рішень, прогнозування, побудови інтелектуальних інформаційних систем. Робота виконувалась у рамках науково-дослідних робіт: «Розробка інформаційної технології моделювання та оцінювання фінансово-економічних ризиків із врахуванням невизначеностей різної природи (на основі байєсівських моделей)» (№ ДР 0113U000650, 2013–2014 рр.); «Розробка методології системного аналізу моделювання та оцінювання фінансових ризиків» (№ ДР 0115U000356, 2015–2016 рр.); «Проектування сучасних систем сервісів на прикладі мобільної медичної системи для мешканців прифронтових селищ в зоні АТО» ( № ДР 0117U002435, 2017–2018 рр.); та міжнародних європейських проектів: «Innovation hybrid strategy of IT-outsourcing partnership with enterprises 530319-TEMPUS-1-2012-1-DE-TEMPUS-JPHES» (2012–2015 рр.); «Development of a network infrastructure for youth innovation entrepreneurship support on fablab platform 561536-EPP-1-2015-1-UK-EPPKA2-CBHE-JP» (2015–2018 рр.).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є підвищення якості моделювання, оцінювання та прогнозування ФР на основі розвитку системної методології аналізу ризиків завдяки розробці нових методів, моделей та засобів опрацювання ФР в умовах нелінійності та нестационарності фінансових процесів, а також неповноти та невизначеності даних.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- проаналізувати існуючі методи та підходи до моделювання, оцінювання і прогнозування ФР;
- застосувати системний підхід до аналізу та менеджменту ФР і розробити системну методологію дослідження ФР на основі методів статистичного та інтелектуального аналізу даних, яка враховує динамічний аналіз природи, сутності і причини появи ФР;
- дослідити причини виникнення ризиків у фінансових системах, характер фінансових ризиків і запропонувати спосіб урахування інформаційних впливів;
- удосконалити методику аналізу причин появи невизначеностей різного характеру з урахуванням особливостей фінансових процесів та неповноти фінансових даних шляхом застосування динамічних та гібридних мереж Байєса;

- розробити новий комбінований метод та моделі аналізу даних на основі комплексного підходу до обробки фінансових даних з урахуванням їх неповноти, неструктурованості, нечіткості та неоднозначності;
- запропонувати математичний інструментарій для оцінювання, ранжування і прогнозування фінансових ризиків з урахуванням попереднього досвіду скорингу, вимог аналітиків та неповноти фінансових даних;
- розробити метод прогнозування ризику фінансових втрат з можливістю оцінювання рівня та ступеню ризику;
- розробити метод динамічного оцінювання та прогнозування ФР з можливістю прогнозування критичного часу та рівнів втрат (допустимого, критичного та катастрофічного);
- запропонувати критерії оцінювання якості опрацювання ризиків та інтегрувати їх разом з існуючими в єдину інформаційну технологію (ІТ) менеджменту ФР;
- запропонувати спосіб адаптації моделей оцінювання моменту настання катастрофічних втрат з урахуванням нестаціонарності та нелінійності фінансових процесів з метою їх подальшого використання в інформаційних системах підтримки прийняття управлінських рішень у фінансових системах;
- розробити інформаційну систему підтримки прийняття рішень (ІСППР) нового типу із застосуванням системного підходу до розробки архітектури, функціональної схеми та процедур аналізу даних і можливістю генерування множини взаємодоповнюючих альтернатив та об'єктивного вибору кращої з них за допомогою кількох множин статистичних критеріїв якості;
- розробити програмний інструментарій підтримки прийняття рішень на основі запропонованої системної методології для подальшого впровадження в існуючі фінансові системи;
- застосувати розроблені інформаційні технології та системи для розв'язання прикладних задач аналізу та менеджменту фінансових ризиків.

*Об'єктом дослідження* є ризики у фінансових системах, зокрема в банківських установах, телекомунікаційній сфері, страхуванні та підприємницькій діяльності, які потребують коректного опрацювання з метою виявлення засобів їх зниження та підвищення ефективності процесу прийняття управлінських рішень.

*Предмет дослідження* – методи і моделі дослідження ризиків фінансових систем; методи моделювання нелінійних нестаціонарних фінансових процесів в умовах невизначеності, неповноти та нечіткості фінансових даних; методи оцінювання параметрів і станів динамічних систем.

**Методи дослідження.** Особливості об'єкту і мета досліджень обумовлюють необхідність застосування методів: для аналізу й обробки інформації – системного аналізу, інтелектуального і статистичного аналізу даних; методів фільтрації та обробки невизначеностей; для моделювання й оцінювання ФР – ймовірнісно-статистичного та регресійного аналізу даних, байесівських мереж; для побудови й оцінювання прогнозів – методів прогнозування на основі часових рядів, різницевого рівнянь, регресійного аналізу і байесівських мереж та методів аналізу виживання;

для побудови практичних реалізацій – методів, засобів та інформаційних технологій проектування ІСППР і сучасного програмування.

**Наукова новизна одержаних результатів** визначається такими теоретичними і практичними результатами, отриманими автором:

*Уперше:*

- запропоновано методологію системного аналізу фінансових ризиків з урахуванням наявності невизначеностей, характерних для процесів моделювання, прогнозування і оцінювання можливих втрат. Методологія відрізняється тим, що містить такі функціональні складові: методи обробки пропущених та втрачених даних, випадкових збурень стану та похибок вимірів; метод адаптації моделей ризиків до нових даних; спосіб побудови адекватних моделей байєсівського типу та прогнозів можливих втрат на задану кількість кроків і забезпечує розв'язання задач попередньої обробки даних, побудови адаптивних моделей і обчислення прогнозних оцінок;
- запропоновано принцип інтегрованого динамічного урахування факторів часу, ступеня та рівня ризику у фінансовому ризик-менеджменті і метод динамічного оцінювання та прогнозування фінансових ризиків, що відрізняються визначенням моменту переходу на вищий ступінь ризику і забезпечують можливість прогнозування критичного моменту настання ризику;
- розроблено комбінований метод обробки неповних даних, який відрізняється застосуванням мережі Байєса (для виявлення причин і наслідків неповноти даних) та регресійних моделей (для прогнозування пропущених значень), що дозволяє відновити втрачені дані і усунути невизначеності;
- запропоновано ймовірісно-статистичний метод оцінювання ризику фінансових втрат, який ґрунтується на комбінуванні статистичних та ймовірісних методів з метою поглибленого аналізу фінансових ризиків, урахування невизначеностей різної природи, побудови адекватних моделей та отримання високоякісних оцінок прогнозів;
- запропоновано принцип адаптивного менеджменту ризиків та новий метод структурно-параметричної адаптації ймовірісно-статистичних моделей, що відрізняються налаштуванням моделей оцінювання фінансових втрат як функцій часу, та використанням множини статистичних критеріїв для оцінювання якості структури і параметрів моделей, і забезпечують побудову адекватних моделей досліджуваних процесів і врахування очікуваних втрат, відхилень та компенсаційних втрат на подолання ризиків.

*Набула подальшого розвитку* методологія побудови систем підтримки прийняття рішень для розв'язання задач моделювання, оцінювання і прогнозування фінансових ризиків, яка відрізняється комплексним застосуванням ймовірісно-статистичного та динамічного методів, множини критеріїв якості даних, моделей та прогнозів, і забезпечує побудову адекватних математичних моделей фінансових ризиків та отримання високоякісних оцінок прогнозів можливих втрат.

*Удосконалено* методологію застосування скорингової карти як інструменту оцінювання фінансового ризику, яка відрізняється наявністю нейро-нечіткого методу доповнення вибірки відхиленими заявками при моделюванні фінансових

ризиків, урахуванням інформаційної складової при оцінюванні та менеджменті фінансових ризиків, що забезпечує підвищення якості оцінок можливих втрат.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у розробці:

- структури та базових модулів інформаційної системи підтримки прийняття рішень на основі запропонованих моделей і методів, що дозволяє підвищити ефективність обробки фінансових даних різних типів, виконати аналіз фінансових та інформаційних ризиків;

- методології системного аналізу ФР в умовах наявності невизначеностей із застосуванням методів динамічного оцінювання та прогнозування ФР, урахуванням часу та оцінювання моменту настання переходу на вищий ступінь ризику;

- методики обробки і заповнення пропущених значень та авторського комбінованого методу обробки неповних даних.

Запропоновані методи і моделі доведені до рівня практичної реалізації:

- забезпечують підвищення якості оцінок можливих втрат за рахунок урахування інформаційної складової в моделях оцінювання та менеджменту ФР, наприклад, під час перевірки і моніторингу банків Національним банком України;

- скорингові моделі для динамічного оцінювання і прогнозування ФР на основі пропорційних та непараметричних моделей дали можливість завчасно визначити та спрогнозувати поведінку клієнтів, які будуть користуватися послугами, і спрогнозувати до 97% потенційно схильних до «відтоку» клієнтів;

- розроблені елементи ІСППР з використанням поведінкових моделей дозволили встановлювати найбільш ризикованих, з точки зору відтоку, клієнтів, ранжувати їх за очікуваними втратами та оцінювати фінансове положення компанії в цілому через загальний обсяг можливих втрат;

- принцип інтегрованого динамічного урахування факторів часу, ступеня і рівня ризику дозволив оцінювати клієнтів, які виїжджають за кордон, прогнозувати їх витрати, кількість днів у роумінгу та, відповідно, витрати компанії, що дозволило зменшити втрати на 12%.

Результати дисертаційної роботи використані та впроваджені в Національному банку України, компаніях ТОВ «САС Інстїтют ЕЛ.ЕЛ.СІ.», ТОВ «ЕЛСІКО», телекомунікаційній компанії ТОВ «Лайфселл», іноземній компанії Artcom Venture GmbH та у навчальному процесі кафедри математичних методів системного аналізу ІПСА НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», що підтверджується відповідними актами, відгуками та довідками про впровадження.

**Особистий внесок здобувача.** Усі теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримані автором особисто. У друкованих працях, написаних у співавторстві, здобувачеві належать: схема аналізу фінансових даних та ІТ з використанням інтегрованого методу [1]; структурна схема ІТ для аналізу фінансових показників та архітектура ІСППР комерційного банку [2]; огляд методів прогнозування, адаптивна модель прогнозування фінансових даних на основі фільтра Калмана та авторегресії з ковзним середнім (АРКС) та їх порівняння [3]; моделі стохастичної волатильності та узагальненої авторегресії з умовною гетероскедастичністю для прогнозування фінансових процесів [5]; комбінована модель на основі нейронних мереж для аналізу ФР [7]; методологія для аналізу

невизначеностей і вибору методу заповнення пропусків [8]; оцінювання ФР на основі моделей ІАД та поведінкових моделей [11]; динамічна модель аналізу кредитних ризиків [12]; динамічний підхід до аналізу та оцінювання ФР з прогнозуванням можливого часу настання ризику, ймовірності та рівня втрат [15]; ймовірнісно-статистичний метод оцінювання ризику фінансових втрат [17]; ІСППР для аналізу та розрахунку втрат за інвестиційним портфелем [20]; метод структурно-параметричної адаптації на основі ймовірнісно-статистичних моделей [21]; системна методологія менеджменту ФР [22]; поведінкові моделі для аналізу заявок і закупівель на електронній платформі ProZorro [23]; архітектура системи аналізу ФР [24]; класифікація моделей для дослідження операційних ризиків, аналіз використання МБ в умовах наявності невизначеності [32]; застосування комбінованого методу прогнозування з використанням авторегресійних моделей та нейронних мереж, експериментальне моделювання [33]; програмна реалізація на основі системного підходу комплексу для оцінювання тепловтрат [34]; розробка поведінкових моделей клієнтів-власників кредитних карт [35]; поведінкові моделі на основі біхевіоріального скорингу [36]; інтегрований підхід для прогнозування ФР [42]; основні положення системного підходу для оцінювання ФР [43]; архітектура системи для прогнозування фінансово-економічних процесів [45]; моделі виживання для прогнозування ФР [48]; моделі ієрархічної кластеризації, xgboost та моделі на основі теорії виживання для прогнозування відтоку користувачів онлайн-платформи [50]; поведінкові моделі для аналізу ризиків втрати клієнтів [51]; методи оцінювання банківських ризиків [52]; розділи 6, 12, 14, 16-21, присвячені факторному та байєсівському аналізу, моделям дискретного вибору та прийняття рішень [53].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення роботи і наукові результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на:

– міжнародних та національних науково-технічних конференціях «Системний аналіз та інформаційні технології» (Київ, 2011, 2013, 2016, 2018); «Intelligence, Integration, Reliability» (Kyiv–Warsaw, 2011); «Комп’ютерні науки та інженерія: CSE-2011» (Львів, 2011); «Сучасна інформатика: проблеми, досягнення та перспективи розвитку» (Київ, 2013); «Інформаційні технології і безпека» (Київ, 2013, 2015, 2016, 2017); «Геоінформаційні системи і комп’ютерні технології еколого-економічного моніторингу» (Дніпро, 2016); «Електротехнічні та комп’ютерні системи: теорія і практика (ELTECS-2016)» (Одеса, 2016); «Моделювання та прогнозування економічних процесів» (Київ, 2017); «Інформатика, математика, автоматика» (Суми, 2015); IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (Київ, 2018);

– міжнародних наукових семінарах (Нансі (Франція), 2016; Анкара (Туреччина), 2017; Будапешт (Угорщина), 2018).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано **53** наукові праці, з них **25** публікацій у фахових виданнях (21 публікація у виданнях України, що входять до наукометричних баз, та 2 у закордонних виданнях), **11** публікацій в інших виданнях; **16** публікацій у матеріалах доповідей і збірках праць конференцій; **1** навчальний посібник з грифом МОН України.



**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, переліку умовних позначень, шести основних розділів, висновків, списку використаних джерел і п'яти додатків. Робота викладена на 415 сторінках і містить 294 сторінки основної частини, 83 сторінки додатків, 71 рисунок, 34 таблиці, список використаних джерел із 372 найменувань на 36 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації: розробки методів і моделей аналізу, оцінювання та прогнозування ризиків фінансових систем, розкрито суть і стан проблеми, сформульовано мету, задачі, об'єкт, предмет та методи дослідження, показано зв'язок з науковими програмами, наведено наукову новизну, практичне значення одержаних результатів та особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** виконано системний аналіз проблеми моделювання, прогнозування і менеджменту ризиків у фінансових системах, визначено сутність категорії «ризик», наведено принципи класифікації ФР, проаналізовано види невизначеностей і пов'язані з ними ризики, визначено рівні ризику, описано методи та принципи управління ризиками. На основі системного підходу проаналізовано комплексний характер фінансового ризику, існуючі методології менеджменту ризиків за міжнародними стандартами та надано формалізацію рейтингу і рівня ФР.

Математичне оцінювання величини ризику  $R$  виконується за формулою:

$$R = P \otimes U, \quad (1)$$

де  $P$  – ймовірність настання несприятливої події;  $U$  – її наслідки (втрати або прибуток);  $\otimes$  – оператор композиції.

Існуючі методики оцінювання рівня ризику пропонують різні трактування формули (1) для оцінки величини ризику: в одних на перший план висувається імовірнісна складова ризику, а в інших – значення збитку. Спираючись на концепцію «прийнятного ризику», можна визначити, що:

$$\text{для } \forall U \exists P: P^*(U) = P. \quad (2)$$

У загальному вигляді шукана залежність може бути представлена як:

$$P^* = P^*(U),$$

де  $U = \frac{U^*}{U_{кр}}$  – нормоване значення збитку;  $U^* \in [U_{нз}, U_{кр}]$ ,  $U_{нз}$  – втрати, які не є

значимими для ОПР,  $P^*(U_{нз}) \approx 0$ ,  $\bar{U} = \frac{U_{нз}}{U_{кр}}$  – нормоване значення незначних збитків

(втрат);  $U_{кр}$  – критичний для ОПР рівень збитків,  $P^*(U_{кр}) \rightarrow 0$ .

В якості  $P^*$  використана функція:

$$P = a \cdot e^{-b(U - \bar{U}_{нз})}, \quad (3)$$

де  $a$  і  $b$  – деякі константи:  $a$  – відповідає ймовірності прийняття незначного збитку  $\bar{U}_{нз}$ ;  $b$  – характеризує швидкість падіння допустимої ймовірності нанесення збитку.

Функція толерантного ризику (тобто того, який приймається) проходить вище кривої прийнятного ризику (рис. 1).

Рівняння кривої толерантного ризику має вигляд:

$$P^T = \beta \cdot P^*(U), \text{ де } \beta - \text{деяка константа.} \quad (4)$$

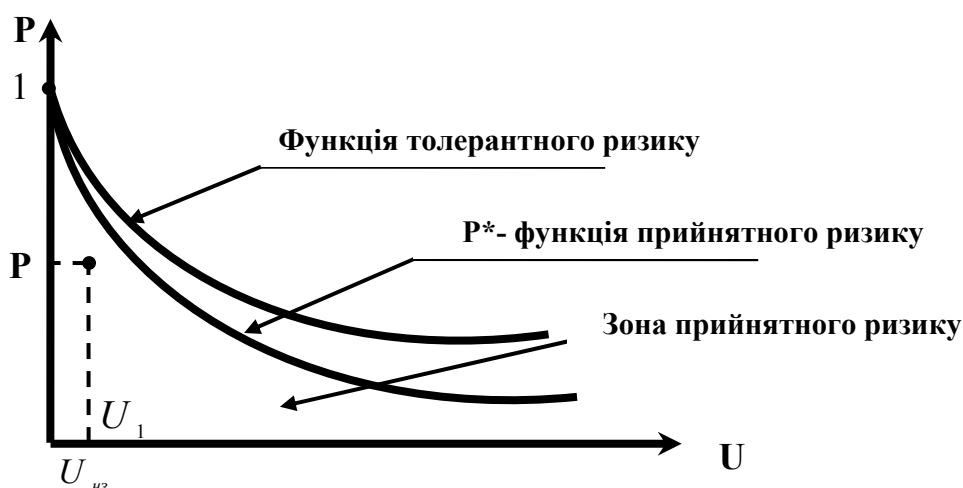


Рис. 1 Функції прийнятного і толерантного ризику

Прийнятний ризик визначається як:

$$R^{np} = \frac{I}{I - \bar{U}_{нз}} \cdot \int_{\bar{U}_{нз}}^I P^*(U) dU. \quad (5)$$

Після підстановки (3) у (5) і інтегрування для певного рівня прийнятного ризику отримаємо:

$$R^{np} = \frac{a}{b(I - \bar{U}_{нз})} \cdot [1 - e^{-b \cdot (I - \bar{U}_{нз})}]. \quad (6)$$

Відповідно, рівень толерантного ризику може бути знайдений за виразом:

$$R^T = \beta \cdot R^{np}. \quad (7)$$

У розділі визначено проблему впливу інформаційних ризиків на результати оцінювання ФР. Проаналізовано вплив невизначеності, неточності та нечіткості на формування ризиків. Розроблено класифікацію різних типів невизначеностей і пов'язаних з ними ризиків, існуючих способів і методів обробки пропущених значень та обґрунтовано необхідність подолання невизначеностей при моделюванні та оцінюванні ризиків. Виконано огляд існуючих моделей оцінювання фінансового ризику на основі VaR, Shortfall, ARCH та GARCH-методологій, проаналізовано особливості та обмеження щодо їх застосування.

Показано, що для розв'язання задач фінансового ризик-менеджменту доцільно використовувати регресійні та методи ІАД: нейронні мережі, нейро-нечіткі моделі, дерева рішень, мережі Байєса, тощо. Визначено особливості, переваги та недоліки

цих методів, описано, які з них доцільно використовувати для оцінювання ймовірності появи ФР, а які – для обчислення можливих втрат.

Аналіз проблеми моделювання ФР показав відсутність єдиного підходу до оцінювання та моніторингу ФР. Не виконується глибинний аналіз причин появи невизначеностей, варіантів реалізації ризику, не вистачає засобів швидкого напрацювання антиризикових рекомендацій через відсутність досвіду, статистичної інформації та аналітичного інструментарію. Наявні методи оцінювання ФР за економічним підходом оцінюють ризик як фінансові втрати, і за рівнем втрат визначають, наскільки він допустимий для фінансової системи. За статистичним підходом ризик оцінюється через ймовірність його появи. Спроби об'єднати ці два підходи через карти ризику і ранжування не дозволяють визначити ризик в динаміці його поведінки і дають лише наближену поточну оцінку на конкретний момент часу. Виникає необхідність розробки єдиного підходу та практичного інструментарію, який дозволив би оцінювати ризики динамічно, прогнозувати зміну їх ступеня та рівня, обробляти великі масиви інформації і надавати рекомендації для фінансової діяльності і ризик-менеджменту. Це свідчить про актуальність виконання дослідження і визначає тему дисертаційної роботи.

Для розв'язання зазначених проблем розроблено системну методологію, моделі, методи та інформаційні технології, описані у наступних розділах роботи.

Результати за розділом наведено у [1 – 9, 26, 27, 31, 33, 37 – 39, 42, 44, 52, 53].

**Другий розділ** присвячено дослідженню сучасних технологій аналізу, оцінювання і прогнозування ФР, визначено основні етапи, методи і інструменти для фінансового ризик-менеджменту, запропоноване розширене застосування скорингової карти як міри фінансового ризику.

Проаналізовано особливості інструментарію для обробки фінансових даних і ризик-менеджменту (SAS, SAP, Qlik, Tableau, RapidMiner, TIBCO і т. ін.). Технології опрацювання ризиків мають постійно оновлюватись з впровадженням додаткових компонент для розв'язання нових актуальних задач ризик-менеджменту. Недоліком існуючих рішень є те, що вони часто занадто універсальні, призначені для вирішення широкого кола проблем із вбудованою сукупністю різних методів і алгоритмів, проте для конкретних задач вимагають додаткових застосувань, спеціальних продуктів і ліцензій. Галузеві рішення часто є вузькоспеціалізованими, налаштованими для розв'язання конкретної задачі, а тому застосовують обмежену сукупність методів і розширити їх при появі нових задач досить складно.

Визначити завчасно методи ІАД для оцінювання ФР неможливо, оскільки типи ризиків, категорії, рівні та методологія їх оцінювання постійно варіюються, водночас етапи і послідовність їх опрацювання залишаються незмінними. Зокрема, запропоновано узагальнити та розвинути застосування скорингових карт на всі типи ФР та впровадити поведінкові скорингові карти для динамічного оцінювання ФР.

*Скорингова карта* є візуальним представленням роботи логічних алгоритмів побудови скорингових моделей, певною модифікацією експертного підходу, де як оцінки використовують скорингові бали, обчислені за допомогою скорингових моделей, таким чином:

$$\begin{aligned} score &= \log(odds) * factor + offset = -(\sum_{j,i=1}^{k,n} (woe_j * \beta_i) + a) * factor + offset = \\ &= -(\sum_{j,i=1}^{k,n} (woe_j * \beta_i + \frac{a}{n})) * factor + offset = \sum_{j,i=1}^{k,n} (-(woe_j * \beta_i + \frac{a}{n}) * factor + \frac{offset}{n}), \end{aligned}$$

де  $\beta_i$  – коефіцієнти регресії;  $woe_j$  – оцінки WOE для атрибутів моделі;  $n$  – кількість характеристик в моделі;  $a$  – відрізок, що відсікається на осі логістичною регресією;  $k$  – кількість груп (атрибутів) для кожної характеристики.

Характеристика *WOE* (weight of evidence, або вага спостереження) визначає силу атрибутів змінної-характеристики у розділенні позитивних (*Good*) і негативних (*Bad*) випадків, тобто наскільки коректно сформовані інтервали для даної характеристики. Формально вона порівнює частку для кожного рівня (інтервалу) значень атрибутів:  $woe_j = \ln(\frac{Distr\ Good_i}{Distr\ Bad_i})$ .

На основі обчислених значень *WOE* обраховується інформаційне значення, *Information Value (IV)*, воно формально визначає предикативну силу характеристик і обчислюється за формулою:

$$IV = \sum_{i=1}^L (DistrGood_i - DistrBad_i) * woe = \sum_{i=1}^L (DistrGood_i - DistrBad_i) * \ln(\frac{Distr\ Good_i}{Distr\ Bad_i}),$$

де  $L$  – це кількість атрибутів (рівнів або проміжків) для даної характеристики.

Розробка скорингової карти передбачає: завантаження статистичних даних, побудову множини скорингових моделей, вибір кращої з них на основі статистичних критеріїв (загальна точність, помилки 1-го і 2-го роду, індекс GINI, інформаційні критерії Акайке і Байєса-Шварца) та формування скорингової таблиці.

Для поведінкових скорингових карт пропонується застосовувати інформацію за відхиленнями заявками, а саме, додавати статистичні дані, що характеризуються великим ступенем ризику (наприклад, неповернення кредиту) і були автоматично виключені. Такий підхід є коректним, оскільки зберігає статистичний розподіл, який існує в загальній популяції і не допускає зміщення в бік тільки тих факторів, що аналізувалися і приймалися інформаційною системою у попередні періоди.

Запропоновано нейро-нечіткий метод доповнення відхиленнями заявками, коли на навчальній вибірці будується нейронна мережа, яка і використовується на множині прийнятих заявок для визначення  $w_i = p_i(NN(accepted|\mathbf{x}))$  для кожної прийнятої заявки. Доповнена вибірка складається з прийнятих заявок, включених пропорційно ненормованій вазі  $w_j(\mathbf{x}) = p_j^{-1}(NN(accepted|\mathbf{x}))$ , обчислений як  $w_i$  окремо для кожної прийнятої заявки, що включається з даною вагою у нову доповнену вибірку. Кожна прийнята заявка оцінюється на основі нейронної мережі з одиничним ваговим коефіцієнтом, а кожна відхилена заявка входить у вибірку два рази: з вагою рівною ймовірності «хорошого» індикатора  $p_{i1} = p(y_i^{NN} = 1|\mathbf{x})$  з одиничним цільовим результатом, а також з вагою рівною ймовірності негативного цільового індикатора  $p_{i0} = p(y_i^{NN} = 0|\mathbf{x}) = 1 - p(y_i^{NN} = 1|\mathbf{x}) = 1 - p_{i1}$  з нульовим

цільовим результатом. Прогнозні ймовірності (ваги) отримуються за допомогою моделі, побудованої лише на прийнятих заявках (known good/bad) (рис. 2).

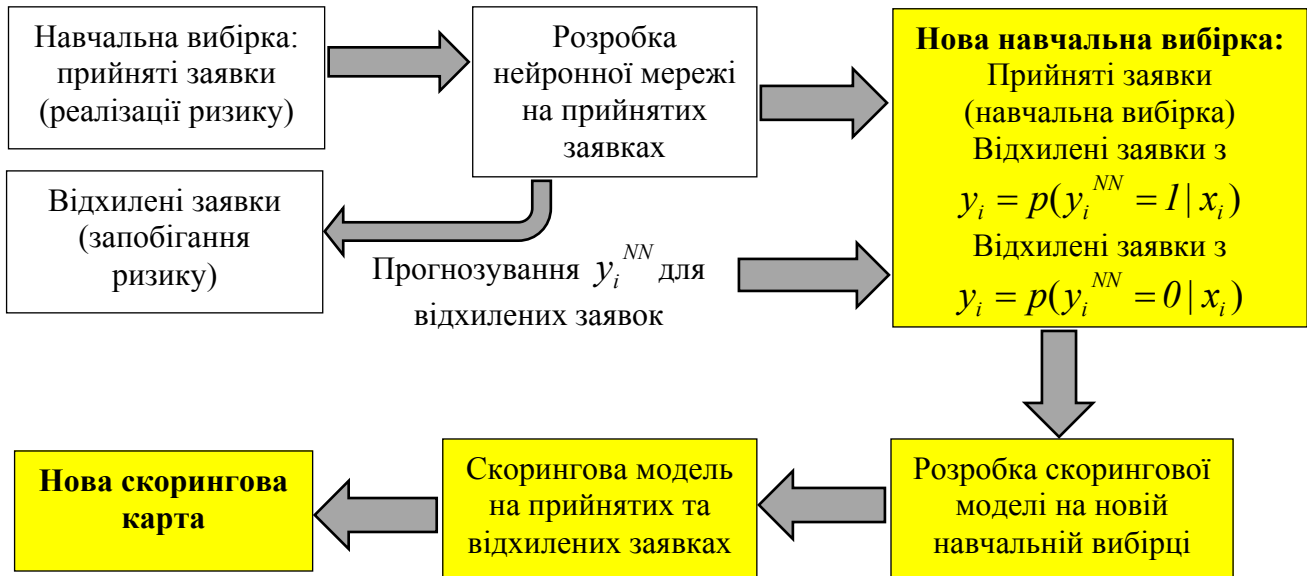


Рис. 2 Суть нейро-нечіткого методу доповнення

Результати досліджень, подані в цьому розділі, опубліковано у роботах [1, 2, 10, 14, 24, 25, 31, 46 – 47].

**Третій розділ** присвячено розробці системної методології менеджменту фінансових ризиків. Проаналізовано методи оцінювання та множини критеріїв в задачах аналізу ФР (рис. 3). Досліджено статичний і динамічний підходи до оцінювання ФР, запропоновано створення системної методології і проаналізовано її властивості, принципи, методи, етапи й засади реалізації.

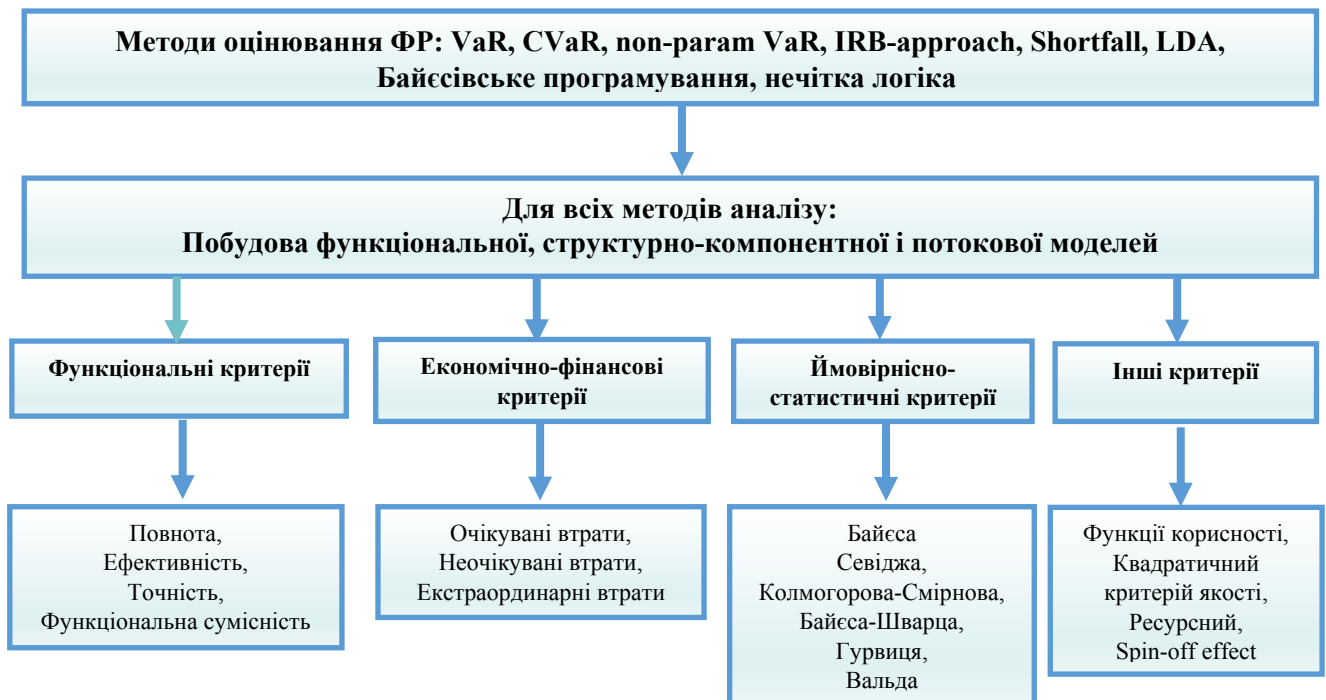


Рис. 3 Основні групи критеріїв системної методології менеджменту фінансових ризиків

Для прийняття рішення в умовах невизначеності використано ймовірнісно-статистичні критерії Севіджа, Байєса, Лапласа, Гурвиця та Вальда. Критерії оцінки якості вхідних даних включають оцінювання кількості пропусків, кореляцію між змінними-характеристиками, критерій  $\chi^2$ , інформаційне значення (IV), вагу кожного спостереження (WOE), тощо.

Критерій оцінки кількості пропусків обчислюється за кожною  $j$ -ю характеристикою:

$$I_{j(mis\ sin\ g)} = \frac{N_{j(mis\ sin\ g)}}{N_j} \times 100\%,$$

де  $N_{j(mis\ sin\ g)}$  – кількість пропущених значень за  $j$ -ю змінною;  $N_j$  – кількість значень для  $j$ -ї змінної (довжина вибірки). Критерій дозволяє оцінити, чи включати змінну в модель. Експертно встановлюється величина порогу для пропущених значень  $p_{cut-off}$ . Якщо  $I_{j(mis\ sin\ g)} > p_{cut-off} \%$ , то цю характеристику слід виключити з аналізу.

Для оцінювання якості прийнятого рішення запропоновано використовувати сукупність критеріїв якості: різновиди функцій корисності, квадратичні критерії якості тощо. Квадратичний критерій якості:

$$I = \sum_{k=1}^N [u^T(k) \times R \times u(k) + x^T(k) \times Q \times x(k)]^2 \rightarrow \min_{u^*, x}, \quad (8)$$

де  $u(k)$  – вектор входів;  $x(k)$  – вектор виходів;  $u^*$  – оптимальний вхідний вектор, який визначається в результаті розв'язання задачі оптимального керування вибраною фінансовою системою. Перший доданок передбачає мінімізацію втрат, другий – мінімізацію відхилень від фактичного завдання.

Запропоновано критерій урахування інформаційних ризиків у складі ФР. Оскільки якість вхідних даних є фактором інформаційного ризику, як і реалізація інформаційної загрози, то ФР визначається через оцінку неякісної, недостовірної, неповної інформації або зовнішнього інформаційного впливу за формулою:

$$EL(FR | IR) = P(IR) \times EL(IR) \times EF(IR), \quad (9)$$

де  $EL(FR | IR)$  – очікувані втрати ФР від реалізації інформаційного ризику (загрози);  $P(IR)$  – ймовірність реалізації інформаційної загрози;  $EL(IR)$  – очікувані втрати від реалізації інформаційного ризику (загрози);  $EF(IR)$  – міра уразливості ресурсу до інформаційної загрози.

Ймовірність виникнення ФР через появу інформаційного ризику:

$$P(FR | IR) = \frac{P(IR | FR) * P(FR)}{P(IR)}. \quad (10)$$

На першому етапі реалізації статичного оцінювання ФР (рис. 4) розробляються моделі кількісної оцінки ризику. Оцінка ФР дає можливість визначити можливі втрати при коливаннях ринку і розмір капіталу, необхідного для покриття цих втрат.

На другому етапі здійснюється глибинний аналіз ФР, зокрема визначення ключових параметрів, які можуть поставити під сумнів успіх бізнесу (аналіз чутливості), аналіз різноманітних сценаріїв з альтернативними наборами вхідних

даних, які можуть з'явитись в реальній ситуації; імітаційне комп'ютерне моделювання з метою оцінювання фінансових показників.

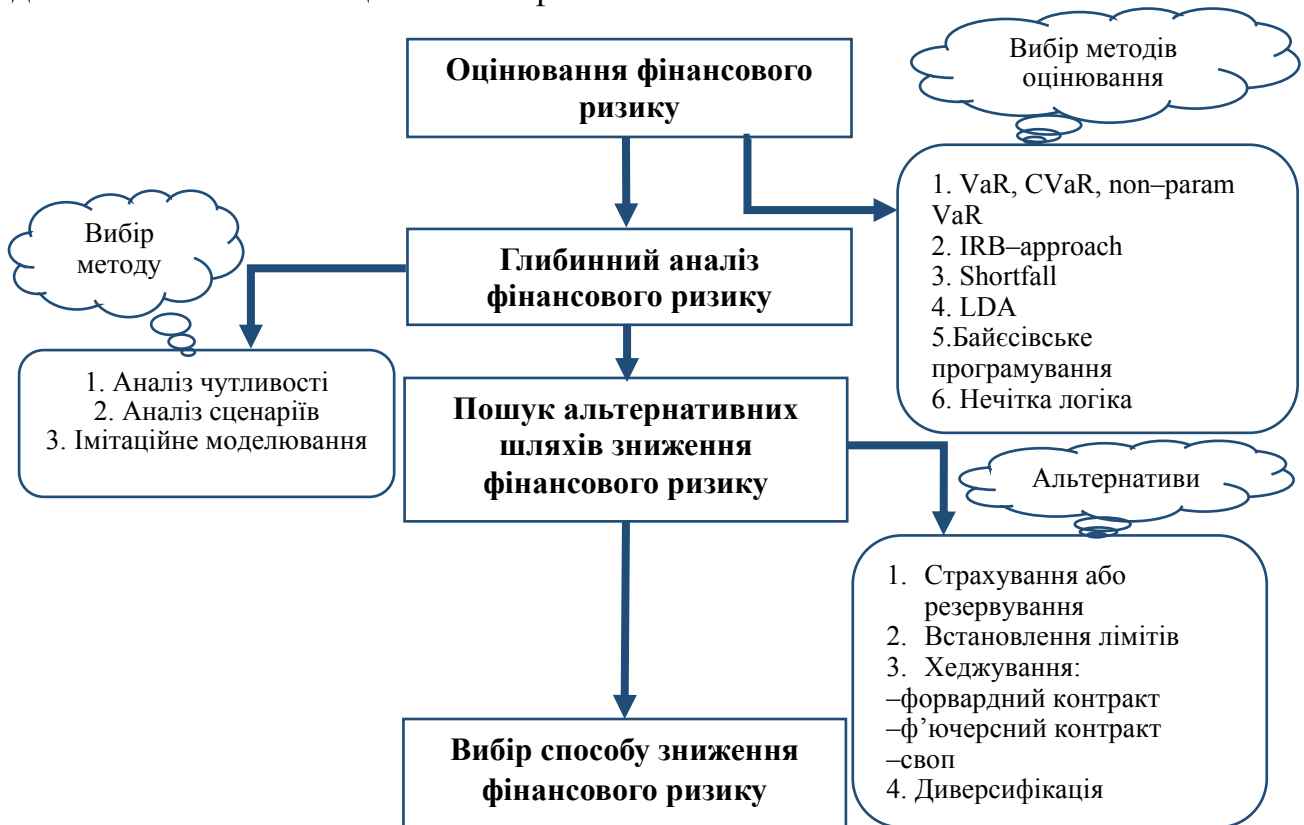


Рис. 4 Статичне оцінювання ФР

На *третьому етапі* відбувається пошук альтернативних шляхів зниження ФР. Це може бути страхування або резервування (без зменшення ймовірності появи ризиків, але з орієнтацією на відшкодування матеріальних збитків від прояву ризиків); встановлення лімітів операцій; хеджування (мінімізація цінового ризику з метою фіксації певного рівня цін) та диверсифікація (зменшення сукупної схильності до ризику за рахунок розподілу коштів між різними активами, ціна або прибутковість яких слабо корельовані між собою).

На *четвертому етапі* приймається управлінське рішення щодо ФР. На основі всіх проаналізованих альтернатив, методів зниження збитків обирається та альтернатива (або їх комбінація), яка дозволяє отримати найменші фінансові втрати і таким чином збільшити прибутковість.

Для статичного оцінювання ФР запропоновано використання множини статистичних критеріїв, урахування інформаційних ризиків, використання комбінованих моделей на основі методів ІАД для прогнозування ймовірності та втрат, а також розроблено *комбінований метод обробки неповних та втрачених даних*, який реалізується у вигляді наступних кроків.

*Крок 1.* Оцінювання неповноти даних в цілому по вибірці для кожної характеристики за критерієм оцінки кількості пропусків.

Якщо  $I_j(\text{missing}) > p_{\text{cut-off}}\%$ , то змінна виключається з моделювання і пропущені значення за цією характеристикою не має сенсу відновлювати.

*Крок 2.* Аналіз змінних та систематичності появи пропущених значень.

2.1. Для категоріальної змінної виділення пропущених значень в окрему категорію – заповнення пропусків значенням:

$$V_{категор} := \text{“Missing”}.$$

2.2. Для всіх числових змінних, які містять пропущені значення, здійснюємо аналіз їх появи (S-systematic):

$$S_{j\text{ num}} = \begin{cases} 1 - \text{для систематичних пропусків, де } I_{j(\text{missing})} \geq p_{\text{cut-off}} \% \\ 0 - \text{для несистематичних пропусків, де } I_{j(\text{missing})} < p_{\text{cut-off}} \% \end{cases}.$$

Крок 3. Аналіз причин та наслідків появи пропусків

Використовується мережа Байєса для встановлення причинно-наслідкових зв'язків між змінними та аналізу наслідків появи пропуску. Цільова (прогнозована) змінна для МБ – наслідки.

3.1. Для  $S_{j\text{ num}}$  аналізуються причини та наслідки появи пропусків:

$$C_j = \begin{cases} 1 - \text{випадкові;} \\ 2 - \text{критичні;} \\ 3 - \text{катастрофічні.} \end{cases}$$

3.2. Якщо для  $j$ -ї змінної  $S_{j\text{ num}} = 0$ ,  $C_j = 1$ , то всі  $i$ -ті пропущені значення замінюють як:

$$v_{ji} = \begin{cases} 0, \\ \text{мода} \end{cases}, \text{ де } V_{j\text{ num}} = \begin{pmatrix} v_{j1} \\ v_{j2} \\ \vdots \\ v_{ji} \\ \vdots \\ v_{j4} \end{pmatrix} \quad \text{і-те значення є пропуском.}$$

3.3. Інакше застосовується регресійне рівняння для прогнозування значень.

Крок 4. Побудова та вибір кращої моделі для відновлення пропущених значень.

4.1. Регресійне моделювання

На  $s$ -кроків вперед прогноз обчислюється, наприклад, за функцією:

$$\hat{y}(k+s, k) = E_s[y(k+s)] = a_0 \left( \sum_{i=0}^{s-1} a_1^i \right) + a_1^s y(k) = a_0 \sum_{i=0}^{s-1} a_1^i + a_1^s y(k).$$

Послідовність оцінок прогнозів є збіжним процесом, якщо виконується умова:

$$|a_1| < 1, \text{ тобто } \lim_{s \rightarrow \infty} E_k[y(k+s)] = \frac{a_0}{1-a_1}, \quad |a_1| < 1.$$

Формується множина функцій прогнозування регресійного типу для відновлення пропущених значень, оцінюється точність прогнозування.

4.2. Застосування альтернативних методів відновлення пропусків (наприклад, заповнення середнім значенням, нулем або ЕМ-алгоритмом). Оцінка якості прогнозування за критеріями оцінки точності прогнозів (MAPE, MSE, RMSE, тощо).

4.3. Обрання кращої моделі за сукупністю критеріїв якості прогнозів та використання її у подальшому для відновлення втрачених або пропущених значень.

Крок 5. Відновлені дані включаються у вибірку даних і використовуються для подальшої розробки моделей оцінювання фінансових ризиків.



Показано, що істотним обмеженням статичного оцінювання є те, що воно застосовується один раз для оцінювання і зниження ФР. Реальні задачі ризик-менеджменту потребують неперервного оцінювання ФР, реалізацію і включення в цей процес методів для обробки невизначеностей, пошуку кращої альтернативи стосовно оцінювання ймовірності та рівня ризику. Запропоновано динамічне оцінювання ФР, яке усуває описані обмеження та дозволяє прогнозувати ризики з урахуванням фактору часу. Момент часу, коли змінюється рівень ризику від допустимого до катастрофічного, є найбільш важливим для оцінювання рівня втрат. Оцінюється ймовірність прояву ризиків, яка змінюється у часі, і момент, коли ймовірність прояву ризику різко зростає.

Динамічне оцінювання передбачає динамічний аналіз ризиків та структурно-параметричну адаптацію моделей з урахуванням фактору часу, тобто урахування таких показників:  $\langle PR, Losses, t, S(t|x), \lambda(t|x) \rangle$ , де  $PR$  – ймовірність настання ризику;  $Losses$  – рівень максимально можливих втрат;  $t$  – час;  $S(t|x)$  – функція умовного виживання, тобто подальше функціонування системи після прояву ризику;  $\lambda(t|x)$  – умовний рівень небезпеки, тобто рівень втрат в момент часу  $t$ .

У дисертаційній роботі проаналізовано проблеми статичного і динамічного оцінювання ризиків і запропоновано методи та способи їх подолання з урахуванням невизначеностей різної природи (табл. 1).

Таблиця 1

## Статичне і динамічне оцінювання ризиків

Статичне оцінювання	
Проблеми та обмеження	Методи та способи подолання
Неповнота вхідних даних	Адаптація для коротких вибірок, комбінований метод обробки неповних даних, урахування інформаційних ризиків
Неструктурованість вхідних даних	Критерії для формування структури моделі $R^2, \chi^2, IV, WOE$
Недостатня ефективність існуючих методів ІАД	Оцінювання ризиків інтегрованими та комбінованими моделями (нейро-нечіткі методи, дерева рішень, регресійні та байєсові моделі)
Визначення міри ступеня ризику	Скорингові карти
Критерії якості	$GINI, CA, BS$ та розроблені критерії (квадратичний та критерій ефективності)
Динамічне оцінювання	
Момент настання ризику	Визначення часу з використанням параметричних, напівпараметричних та непараметричних моделей
Визначення ймовірності настання фінансового ризику	Використання функції ризику (hazard function)
Оцінювання втрат на конкретний момент часу	1) Функції виживання; 2) Ймовірнісно-статистичний метод оцінювання втрат.

Запропоновано системну методологію менеджменту ФР як узагальнення процедур статичного і динамічного оцінювання ризиків, застосування розроблених методів обробки пропущених та втрачених даних, адаптації моделей ризиків до нових даних і оцінювання адекватності їх структур (рис. 5).

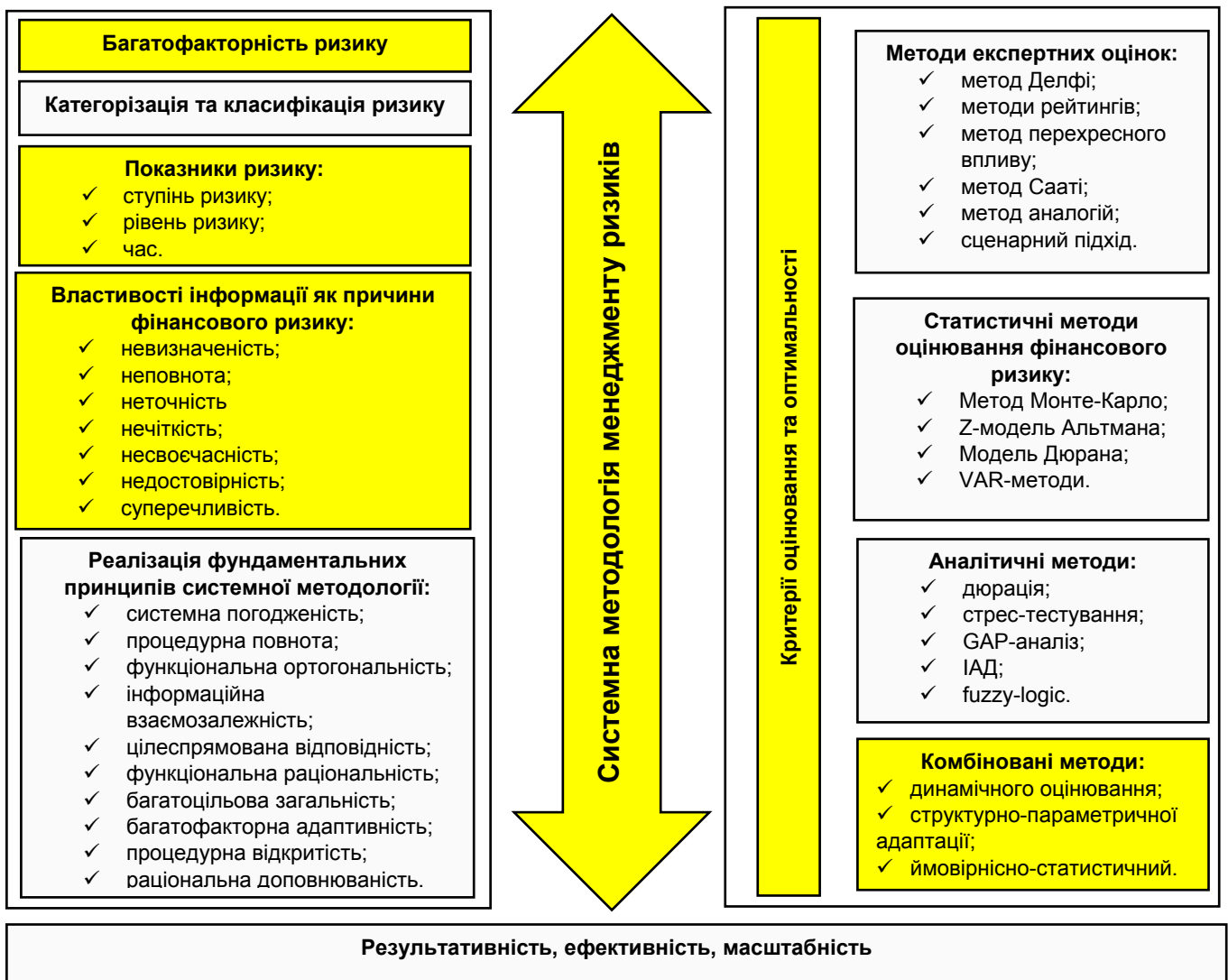


Рис. 5 Системна методологія менеджменту ФР

Фундаментальними властивостями запропонованої системної методології є її результативність, ефективність і масштабність. Фундаментальні принципи, яких необхідно дотримуватися для формування системної методології та її практичної реалізації у вигляді сукупності конкретних підходів, методів, методик, алгоритмів, пакетів прикладних програм є принципи системної погодженості, процедурної повноти, функціональної ортогональності, інформаційної взаємозалежності, цілеспрямованої відповідності, функціональної раціональності, багатоцільової загальності, багатофакторної адаптивності, процедурної відкритості, раціональної доповнюваності. Всі принципи, методи, критерії та властивості формують єдину системну методологію, запропоновану у дисертаційній роботі.

Урахування багатофакторності ризику потребує виявлення можливих причин і зовнішніх факторів, які спричиняють його появу. Запропоновані такі показники ризику: ступінь ризику як ймовірність його появи та рівень ризику як відносні (можливі) втрати внаслідок його реалізації. Основними причинами ризику є невизначеність природи, дій учасників, зовнішніх факторів, інформації тощо.

Неповнота, нечіткість, спотворення та неоднозначність інформації можуть проявлятися як ризик у певному розумінні. Так, невизначеність інформації може

впливати на коректність статистичної вибірки і кількісну оцінку ризику. Неточність інформації може призвести до отримання хибних моделей та некоректних оцінок ФР. Нечіткість нормативів, постановок задач, неможливість однозначного трактування вхідної інформації призводять до прийняття суб'єктивного або навіть хибного рішення при оцінюванні ризику експертами. Несвоєчасність отримання інформації може спричинити некоректне оцінювання, неусвідомлення катастрофічності ситуації і пізнє реагування.

Недостовірна інформація щодо котирувань акцій, фінансової звітності призводить до некоректного оцінювання рівня ризику та може розглядатись як приклад маніпуляції даними з метою шахрайства. Суперечливість вхідної інформації або оцінок експертів призводять до неможливості розробки адекватного і своєчасного механізму реагування на появу ризику.

Дотримання принципу системної погодженості в методології передбачає використання різних методів, які є взаємопов'язаними і функціонально залежними, що дозволяє отримати чітку послідовність викликів відповідних методів у ІСППР. Принцип процедурної повноти передбачає, що охоплені всі етапи аналізу ризиків, починаючи від класифікації, категоризації ризику, аналізу причин його появи і завершуючи оцінкою його рівня і рейтингу, перевіркою побудованих моделей і оцінок, і таким чином забезпечений повний цикл підготовки даних, моделювання та аналізу ризиків. За принципом функціональної ортогональності передбачається незалежна реалізація і використання окремих модулів, що реалізують методи обчислення оцінок. Принцип цілеспрямованої відповідності дає можливість використання різних критеріїв, оцінок, які взаємопов'язані і дозволяють отримати інформацію щодо точності прогнозу, якості моделі та якості прийнятого рішення.

Принцип інформаційної взаємозалежності передбачає, що всі результати, отримані на кожному етапі, реалізованому у вигляді процедур/функцій, мають бути взаємно погодженими з тими методами, процедурами, які є взаємозалежними.

Реалізація принципу багатоцільової залежності дозволила розроблені методи і принципи використати для різних видів ФР, різних типів системних задач. Багатофакторна адаптивність передбачає, що методи моделювання не мають суттєвих обмежень, є доволі гнучкими, і реалізуються, наприклад, у вигляді контуру адаптації у ймовірно-статистичному методі.

При розробці системної методології накладалось обмеження на дублювання функцій, що узгоджується з принципом функціональної раціональності. Принцип процедурної відкритості передбачає, що реалізована у вигляді ІТ та ІСППР методологія дозволяє удосконалювати, видаляти, агрегувати існуючі та додавати нові методи, алгоритми і елементи. За принципом раціональної доповнюваності методологія повинна забезпечувати можливість розширення сфери застосування за рахунок нових методів, прийомів, принципів за умови їхньої несуперечності між собою та з вихідною методологією.

Для моделювання та оцінювання ФР застосовують аналітичні методи: дюрація, стрес-тестування, GAP-аналіз, які базуються на принципі відслідковування змін показників ризику при змінах вхідних параметрів і змінних та методи розробки скорингових (оціночних) моделей. Комбіновані методи, запропоновані і розроблені

у дисертації, передбачають спільне використання статистичних, ймовірнісних, аналітичних методів з метою поглибленого аналізу ФР, урахування невизначеностей різної природи і отримання вищих оцінок якості моделей та якісніших прогнозів.

Складовою системної методології є запропонований *ймовірнісно-статистичний метод оцінювання ризику фінансових втрат*, який ґрунтується на комбінуванні різних підходів, використовує переваги ідеологічно різних методів та дозволяє оцінювати можливі втрати у формі точкових оцінок та ймовірностей настання ризикових ситуацій. Запропоновано комбіновану модель на основі оптимального фільтра, регресійної моделі і байєсівської мережі для оцінювання ризику можливих фінансових втрат. Структура ймовірнісно-статистичного методу оцінювання ризику фінансових втрат подана на рис. 6.

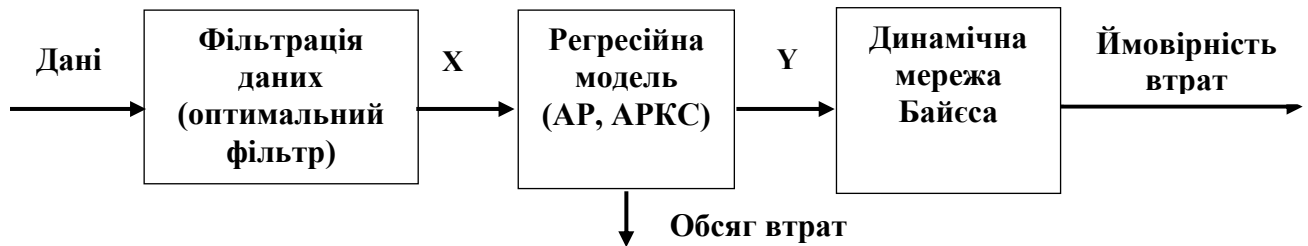


Рис.6 Структурна схема ймовірнісно-статистичного методу оцінювання ризику фінансових втрат

Ймовірнісно-статистичний метод оцінювання ризику фінансових втрат реалізується послідовним виконанням кроків.

**Крок 1. Обробка вхідних даних.** Статистичні дані характеризуються, як правило, неточністю, неповнотою, нечіткістю інформації, наявністю похибок вимірів та впливом випадкових зовнішніх збурень, тому необхідна фільтрація даних. Застосовано цифрові та оптимальні фільтри, зокрема, фільтр Калмана.

Статистичні дані, що описують ФР за різними показниками (ліквідності, обслуговування боргів і т. ін.), можуть бути представлені у табличному вигляді, а змінна або вектор змінних стану, що характеризують можливі фінансові втрати у часі, описуються рівняннями динаміки у просторі станів:

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{F}\mathbf{x}(k) + \mathbf{w}(k), \quad (11)$$

$$\mathbf{z}(k) = \mathbf{H}\mathbf{x}(k) + \mathbf{v}(k), \quad (12)$$

де  $\mathbf{x}(k)$  – вектор стану досліджуваного процесу;  $\mathbf{F}$  – перехідна матриця станів;  $\mathbf{w}(k)$  – векторний процес зовнішніх випадкових збурень з коваріаційною матрицею  $E[\mathbf{w}(k)\mathbf{w}^T(j)] = \mathbf{Q}(k)\delta_{kj}$ ;  $\mathbf{z}(k)$  – вектор вимірів;  $\mathbf{H}$  – матриця коефіцієнтів вимірів (у більшості випадків це діагональна одинична матриця);  $\mathbf{v}(k)$  – вектор похибок вимірів з коваріаційною матрицею  $E[\mathbf{v}(k)\mathbf{v}^T(j)] = \mathbf{R}(k)\delta_{kj}$ . У класичній постановці задачі випадкові процеси  $\mathbf{w}(k)$  і  $\mathbf{v}(k)$  некорельовані між собою та вектором стану і мають нульове середнє та постійні скінченні коваріації. Система матричних рівнянь (11), (12) для спрощення аналізу не враховує можливих керуючих впливів. Початковим станом системи  $\mathbf{x}_0$  вважаються випадкові змінні з відомими статистиками:  $E[\mathbf{x}_0] = \bar{\mathbf{x}}_0$ ;  $E[\mathbf{x}_0\mathbf{x}_0^T] = \mathbf{M}$ ;  $E[\mathbf{w}(k)\mathbf{x}_0^T] = 0, \forall k$ . Оптимальна оцінка

стану  $\hat{\mathbf{x}}(k)$  обчислюється як найкраща за мінімумом середнього значення суми квадратів оцінок похибок, тобто

$$E[(\hat{\mathbf{x}}(k) - \mathbf{x}(k))^T (\hat{\mathbf{x}}(k) - \mathbf{x}(k))] = \min_{\mathbf{K}}, \quad (13)$$

де  $\mathbf{x}(k)$  – точне значення вектору стану, яке обчислюється як детермінована складова математичної моделі процесу;  $\mathbf{K}$  – оптимальний матричний коефіцієнт фільтра, який необхідно обчислити в результаті розв’язання оптимізаційної задачі. Основне рівняння фільтрації має такий вигляд:

$$\hat{\mathbf{x}}(k) = \mathbf{F}(k) \hat{\mathbf{x}}(k-1) + \mathbf{K}(k)[\mathbf{z}(k) - \mathbf{H}(k)\mathbf{F}(k) \hat{\mathbf{x}}(k-1)]. \quad (14)$$

У випадку наявності невимірюваних компонент розмірність вектора вимірів  $\mathbf{z}(k)$  є меншою розмірності вектору стану  $\mathbf{x}(k)$ , тобто  $\dim[\mathbf{z}] < \dim[\mathbf{x}]$ . Оптимальний коефіцієнт фільтра обчислюється за рівнянням:  $\mathbf{K}(k) = \mathbf{P}'(k) \mathbf{H}^T [\mathbf{H} \mathbf{P}'(k) \mathbf{H}^T + \mathbf{R}]^{-1}$ , де  $\mathbf{P}'$  – апіорна коваріаційна матриця похибок оцінок вектора стану. Вектор нев’язок  $\gamma(k)$  в рівнянні оцінювання:  $\gamma(k) = \mathbf{z}(k) - \mathbf{H} \mathbf{F} \hat{\mathbf{x}}(k)$  має розмірність  $[r \times 1]$ , а розмірність добутку  $\dim[\mathbf{K}(k) \gamma(k)] = [n \times 1]$ . Так, якщо  $\dim[\mathbf{x}] = [3 \times 1]$ , а  $\dim[\mathbf{z}] = [2 \times 1]$ , то добуток  $\mathbf{K}(k) \gamma(k)$  має вигляд:

$$\mathbf{K}(k) \gamma(k) = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \\ K_{31} & K_{32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \end{bmatrix},$$

і оцінка вектору стану визначається за рівняннями:

$$\begin{aligned} \hat{x}_1(k) &= \hat{x}_1(k, k-1) + K_{11} \gamma_1 + K_{12} \gamma_2, \\ \hat{x}_2(k) &= \hat{x}_2(k, k-1) + K_{21} \gamma_1 + K_{22} \gamma_2, \\ \hat{x}_3(k) &= \hat{x}_3(k, k-1) + K_{31} \gamma_1 + K_{32} \gamma_2. \end{aligned}$$

Тобто невимірювана третя компонента вектору стану може бути оцінена, якщо матриці  $\mathbf{P}'(k)$ ,  $\mathbf{P}(k)$  і  $\mathbf{K}(k)$  мають ненульові відповідні елементи.

**Крок 2.** Будується регресійна модель певної структури, яка здійснює прогнозування показників ФР втрат (фінансової стійкості) на наступний момент часу. Зазвичай, існує можливість побудови деякої множини моделей-кандидаток у вигляді авторегресії (АР) або АРКС з різними параметрами, за якими здійснюється прогнозування значень фінансових змінних на 1, 2, 3, кроки вперед. Так, для моделі АРКС(2,1) побудована функція прогнозування на три кроки має вигляд:

$$\hat{y}(k+3) = E_k[y(k+3)] = a_0 + a_1 E_k[y(k+2)] + a_2 E_k[y(k+1)] =$$

$$= a_0(1 + a_1 + a_1^2 + a_2) + (a_1^3 + 2a_1 a_2) y(k) + (a_1^2 a_2 + a_2^2) y(k-1) + \beta_1 (a_1^2 + a_2) \varepsilon(k),$$

де  $\hat{y}(k+s)$  – оцінка прогнозу основної змінної на  $s$  кроків;  $E_k$  – оператор умовного математичного сподівання;  $a_0, a_1$  – параметри регресійної моделі.

Табулювання функцій прогнозування дає можливість використовувати їх повторно.

Похибка прогнозування  $f_k(k)$  для моделей типу АР та АРКС визначається випадковою складовою  $\varepsilon(k)$  і оцінюється як:

$$f_k(s) = \varepsilon(k+s) + a_1 \varepsilon(k+s-1) + a_1^2 \varepsilon(k+s-2) + \dots + a_1^{s-1} \varepsilon(k+1). \quad (15)$$

Враховуючи те, що  $E[f_k(s)] = 0$ , оцінка прогнозу, яка обчислюється за виразом (15), є незміщеною. Дисперсія похибки прогнозування визначається за виразом

$$\text{Var}[f_k(s)] = \sigma^2 [1 + a_1^2 + a_1^4 + a_1^6 + \dots + a_1^{2(s-1)}],$$

тобто дисперсія є функцією кількості кроків прогнозування  $s$ . Асимптотичне значення дисперсії похибки прогнозу для стаціонарного процесу.

$$\lim_{s \rightarrow \infty} \text{Var}[f_k(s)] = \frac{\sigma^2}{1 - a_1^2},$$

де  $a_1^2$  – знаменник геометричної прогресії.

За наявності пояснюючих змінних структура лінійної моделі є такою:

$$y(k) = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i y(k-i) + b_1 x_1(k-d_1) + \dots + a_m x_m(k-d_m) + \varepsilon(k), \quad (16)$$

де  $x_i, i=1, \dots, m$  – пояснюючі змінні;  $d_i, i=1, \dots, m$  – дискретний час запізнення для пояснюючих змінних. Структура моделі (16) може містити складові, що описують тренд, ковзне середнє, сезонні та нелінійні ефекти. Оцінювання структури моделі здійснюється на основі кореляційного аналізу даних, статистичних тестів на інтегрованість, гетероскедастичність, нелінійність, тощо. Будують кілька моделей-кандидаток. Після вибору структури виконується оцінювання числових значень параметрів моделей-кандидаток на основі вибраного методу оцінювання (найменших квадратів (МНК), максимальної правдоподібності, нелінійного методу найменших квадратів, методу Монте-Карло для марковських ланцюгів, тощо).

Діагностика побудованих моделей здійснюється так: візуальне дослідження графіка похибок, аналіз характеристик похибок: перевірка корельованості похибок моделі між собою (критерій Дарбіна-Уотсона); обчислення коефіцієнта детермінації  $R^2$ ; суми квадратів похибок;  $F$  – статистики Фішера та ін.

Крок 3. Здійснюється ймовірнісне оцінювання втрат на основі адаптивної динамічної мережі Байєса (ДМБ). Модель будується на основі виходів, обраних на попередньому кроці кращих моделей авторегресії (або інших структур), які подаються на вхід стаціонарного шару ймовірнісної моделі. Змінні розбиваються на трійки  $Z_t = (U_t, X_t, Y_t)$ , що позначають множину змінних вхідного, прихованого та вихідного шарів моделі у просторі станів. За означенням, ДМБ є парою  $(B_1, B_{\rightarrow})$ , де  $B_1$  – МБ, що визначає апіорну ймовірність  $P(Z_1)$ , а  $B_{\rightarrow}$  – двошарова МБ, що визначає  $P(Z_t | Z_{t-1})$  за допомогою спрямованого ациклічного графа таким чином:

$$P(Z_t | Z_{t-1}) = \prod_{i=1}^N P(Z_t^i | Pa(Z_t^i)), \quad (17)$$

де  $Z_t^i$  –  $i$ -й вузол в момент часу  $t$ , що може бути компонентою  $X_t, Y_t$  або  $U_t$ , а  $Pa(Z_t^i)$  – батьки  $Z_t^i$  на графі. Вузли першого шару двошарової МБ не мають жодних параметрів, що з ними асоціюються, але кожен вузол другого шару має зв'язаний з ним розподіл умовної ймовірності, що визначають  $P(Z_t^i | Pa(Z_t^i))$  для всіх  $t > 1$ . Батьки вершини  $Pa(Z_t^i)$  можуть бути у тому ж самому або попередньому часовому

шарі. Не існує суворих обмежень щодо шару розташування батьківських вершин. Дуги між шарами спрямовуються зліва направо, що позначає напрям протікання часу. В межах одного часового шару дозволяється використання неспрямованих дуг, що позначають сильні кореляції між змінними або деякі обмеження.

У дисертаційній роботі сформульовано теорему про адаптацію ДМБ, яка полягає у тому, що нова мережа має кращу якість за рахунок додавання нових і пропущених значень, а також модифікації структури і параметрів нової мережі. За критерій якості обрано критерій Байєса-Шварца.

Оскільки на попередньому кроці пропонованого методу було побудовано авторегресійну модель (або АРКС), то перший (статичний) шар динамічної мережі Байєса (рис. 7) буде складатись зі змінних, що входять в рівняння авторегресії:

$$Z(t) = a_0 + a_1 U_1(t) + a_2 U_2(t-1) + \dots + a_p U_p(t-p) + \beta_1 \varepsilon_1(t) + \beta_2 \varepsilon_2(t-1) + \dots + \beta_q \varepsilon_q(t-q), \quad (18)$$

де  $p$  – порядок побудованої авторегресії; а  $q$  – порядок ковзного середнього.

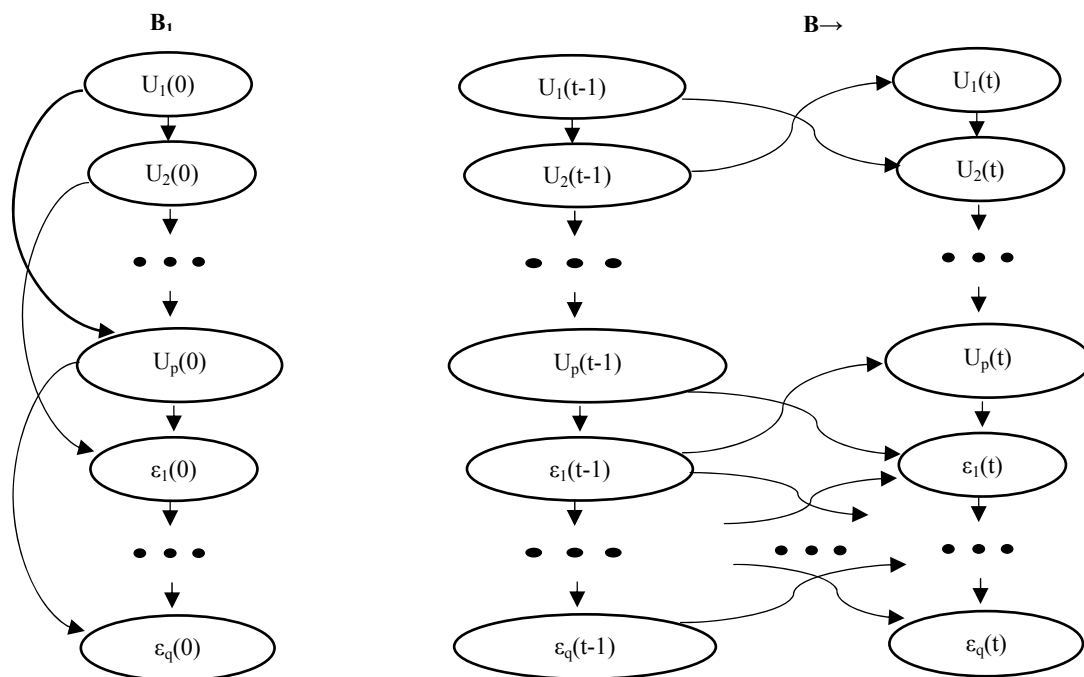


Рис. 7 Структура динамічної мережі Байєса

На виході отримуємо оцінку ймовірності у часовому просторі. Для ФР це може бути ймовірність настання певного ризику або ймовірність фінансових втрат в часі (наприклад, через 30 днів). МБ також використовується для прогнозування ймовірності втрат у певному інтервалі значень на момент часу  $t$ .

У дисертації досліджено застосування запропонованого ймовірнісно-статистичного методу та комплексної моделі оцінювання ринкового ФР при виконанні операцій на фондовій біржі з використанням даних еволюції цін акцій Microsoft, Google і Cisco. На першому кроці здійснювалось моделювання з використанням фільтра Калмана (ФК) та без нього, на другому – короткострокове прогнозування волатильності прибутку різними видами регресійних моделей:

авторегресії з умовною гетероскедастичністю (АРУГ), узагальненої моделі авторегресії з умовною гетероскедастичністю (УАРУГ), експоненційної УАРУГ (ЕУАРУГ), моделі стохастичної волатильності (МСВ). Значення середньої абсолютної похибки (САП) і середньої абсолютної похибки у відсотках (САПП), отримані на навчальній вибірці (НВ) та перевірочній вибірці (ПВ) для моделей АРУГ, УАРУГ, ЕУАРУГ і МСВ для акцій Microsoft наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Прогнозування волатильності прибутку акцій Microsoft

Модель	САП без ФК	САПП без ФК	САПП з ФК
АРУГ НВ	0,000359	9454,4	9188,7
УАРУГ НВ	0,0000791	45,960	36,270
ЕУАРУГ НВ	0,4353	4,9400	3,7530
МСВ НВ	0,64	7,5000	4,9023
АРУГ ПВ	0,00041	5123,5	2494,4
УАРУГ ПВ	0,00013	51,993	28,396
ЕУАРУГ ПВ	0,5053	5,93	4,0710
МСВ ПВ	0,84	10,90	6,9590

Застосування фільтра Калмана для попередньої фільтрації даних в описаному прикладі дозволило зменшити похибки оцінок прогнозів волатильності (САПП) для різних моделей на 7,1% – 45,4%.

На третьому кроці здійснювалось ймовірнісне оцінювання втрат. Для цього була побудована динамічна мережа Байєса (рис. 8), яка прогнозувала на наступні кроки ймовірність фінансових втрат. Фінансові втрати в цілому за день оцінювались за формулою:  $Losses(k) = (Forecast\_Close(k) - Price(k)\_Close) * Volume(k)$ .

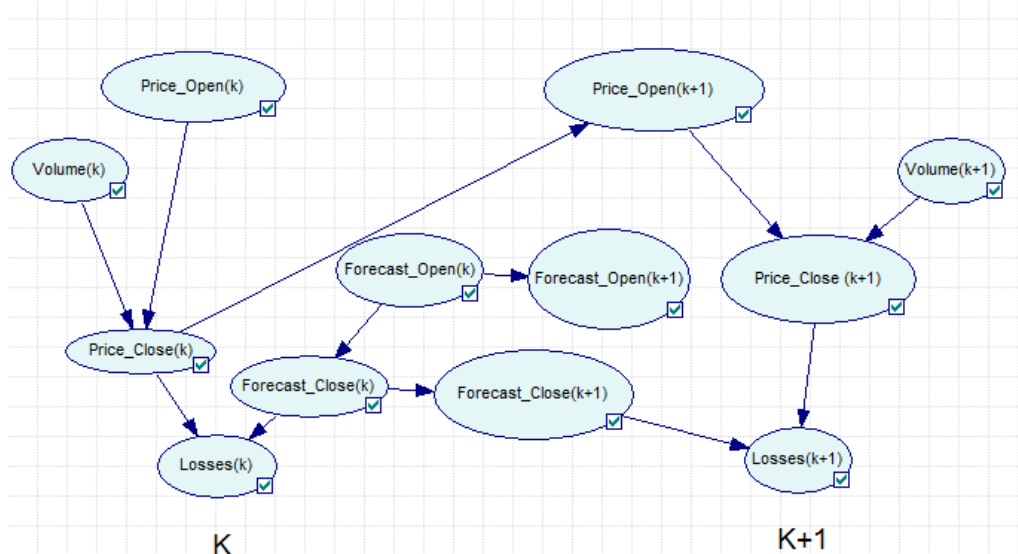


Рис. 8 Динамічна мережа Байєса для ілюстративного прикладу



Ймовірності можливих втрат, отримані за допомогою байєсівської мережі, практично повністю співпали з обчисленими частотним методом на основі наявних історичних даних. Характерні значення обчислених ймовірностей знаходяться у діапазоні: 0,01 – 0,13. Застосування запропонованої комплексної моделі дало можливість підвищити якість оцінок прогнозів волатильності (на використаних статистичних даних) і уточнити ймовірність настання ризикових ситуацій.

Результати досліджень опубліковано в роботах [15, 17, 18, 22, 32 – 34, 40 – 43].

У **четвертому розділі** дисертації проаналізовано можливість і доцільність застосування моделей теорії виживання для аналізу ФР в динаміці. Визначено поняття цензурування даних, оцінки Каплан-Майєра, функції ризику, умовного ступеня небезпеки, і критерії для їх порівняння (статистики LongRank і Wilcoxon).

Доступною інформацією для моделювання ймовірності настання ризику ( $P$ ) є вибірка з  $n$  незалежних однаково розподілених випадкових величин  $\{(Y_1, X_1, \delta_1), \dots, (Y_n, X_n, \delta_n)\}$ , випадкового вектора  $\{Y, X, \delta\}$ , де  $Y = \min\{T, C\}$  – спостережувана зрілість;  $T$  – час до настання ризику;  $C$  – час до кінця дослідження;  $\delta = (T \leq C)$  – індикатор відсутності цензурування;  $X$  – вектор пояснюючих коваріантів. Припускається, що існує невідоме співвідношення між  $T$  і  $X$ . Вважається, що випадкові величини  $T$  і  $C$  є умовно незалежними. Функція умовного виживання,  $S(t|x)$ , умовний ступінь небезпеки,  $\lambda(t|x)$ , умовна кумулятивна функція ризику,  $\Lambda(t|x)$  та умовна функція розподілу  $F(t|x)$  пов'язані таким чином:

$$S(t|x) = P(T > t | X = x) = \int_t^{\infty} f(u|x) du;$$

$$\lambda(t|x) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t, X = x)}{\Delta t} = \frac{f(t|x)}{S(t|x)};$$

$$\Lambda(t|x) = \int_0^t \lambda(u|x) du = \int_0^t \frac{f(u|x)}{S(u|x)} du;$$

$$S(t|x) = e^{-\Lambda(t|x)}; \quad F(t|x) = 1 - S(t|x).$$

Ймовірність настання ризику на горизонті часу  $t + b$  з часом зрілості  $t$ :

$$PD(t|x) = P(t \leq T < t + b | T \geq t, X = x) = \frac{P(T < t + b | X = x) - P(T \leq t | X = x)}{P(T \geq t | X = x)} = \frac{F(t + b|x) - F(t|x)}{1 - F(t|x)} = 1 - \frac{S(t + b|x)}{S(t|x)}, \quad (19)$$

де  $t$  – спостережуваний термін ненастання ризику;  $x$  – значення коваріаційного вектора  $X$  для даного спостереження.

Запропоновано *метод динамічного оцінювання та прогнозування ризиків*, який складається з наступних кроків.

*Крок 1. Визначення значущості характеристик фінансових ризиків-параметрів моделей на основі критеріїв:*

– оцінки кореляції  $R^2, \chi^2, ACF, PACF$  і ваги категорії змінної;

– інформаційної статистики (IV):  $IV = \sum_{i=1}^k (g_i - b_i) \ln \left( \frac{g_i}{b_i} \right) = \sum_{i=1}^k (g_i - b_i) WoE_i$ .

*Крок 2. Розробка моделей виживання різного виду.*

Якщо висунуті припущення щодо розподілу ризиків (пропорційні ризики, з часовими коваріантами, непараметричні моделі тощо), тоді будується тільки один вид моделей виживання. Якщо явно визначити вид моделі неможливо, тоді будується множина обраних видів моделей і визначається краща з них.

*2.1. Модель пропорційних ризиків.* Припускається, що ризик є пропорційною функцією, наприклад константою в часі:  $h(t) = \lambda$ , або що еквівалентно  $\log h(t) = \mu$ .

Оскільки  $S(t) = \exp[-\int_0^t h(u) du]$ , то:  $S(t) = e^{-\lambda t}$ , а  $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ .

2.1.1. Оцінка функції умовного рівня небезпеки визначається як:

$$\hat{\lambda}(t | x) = \hat{\lambda}_0(t) \exp(x^T \hat{\beta}),$$

де  $\hat{\lambda}_0(t)$  – оцінка базової функції рівня небезпеки  $\lambda_0(t)$ , а  $\hat{\beta}$  – оцінка вектора параметрів  $\beta$ , а ймовірність настання ризику:

$$P\hat{R}^{PHM}(t | x) = \frac{\hat{F}_{\hat{\beta}}(t + b | x) - \hat{F}_{\hat{\beta}}(t | x)}{1 - \hat{F}_{\hat{\beta}}(t | x)} = 1 - \frac{\hat{S}_{\hat{\beta}}(t + b | x)}{\hat{S}_{\hat{\beta}}(t | x)},$$

де  $1 - \hat{F}_{\hat{\beta}}(t | x) = \hat{S}_{\hat{\beta}}(t | x) = \exp(-\hat{\Lambda}(t | x))$ .

2.1.2. Оцінюється інтегральна функція базового ризику  $\Lambda_0(t)$  як:

$$\hat{\Lambda}_0(t) = \sum_{i=1}^n \frac{I\{Y_i \leq t, \delta_i = 1\}}{\sum_{j=1}^n I\{Y_j \geq Y_i\}},$$

2.1.3. Параметр  $\beta$  оцінюється як  $\hat{\beta}^{PHM} = \arg \max_{\beta} L(\beta)$ , де часткова функція правдоподібності задається виразом:

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^n \frac{\exp(x_i^T \beta)}{\left( \sum_{j=1}^n I_{\{Y_j > Y_i\}} \exp(x_j^T \beta) \right)}.$$

2.1.4. Оцінка умовної інтегральної функції ризику обчислюється за формулою:

$$\hat{\Lambda}(t | x) = \int_0^t \hat{\lambda}(s | t) ds = \exp(x^T \hat{\beta}^{PHM}) \hat{\Lambda}_0(t).$$

*2.2. Побудова узагальненої лінійної моделі для оцінювання ризиків.*

Припущення щодо пропорційності ризиків не завжди є допустимим. Для визначення «часу життя» до настання ризику формують узагальнену лінійну модель:

$$P(T \leq t | X = x) = F_0(t | x) = g(\theta_0 + \theta_1 t + \theta^T x),$$

де  $\theta = (\theta_2, \theta_3, \dots, \theta_{p+1})^T \in p$ -вимірним вектором;  $g$  – відома функція зв'язку. Ця модель характеризує умовний розподіл часу життя до настання ризику  $T$  в термінах невідомих параметрів. Після оцінювання параметрів отримується оцінка функції

розподілу,  $F_{\hat{\theta}}$ . Оцінка ймовірності настання ризику  $P$  обчислюється шляхом включення цієї оцінки у рівняння (19), тобто:

$$P\hat{R}^{GLM}(t|x) = \frac{F_{\hat{\theta}}(t+b|x) - F_{\hat{\theta}}(t|x)}{1 - F_{\hat{\theta}}(t|x)} = 1 - \frac{S_{\hat{\theta}}(t+b|x)}{S_{\hat{\theta}}(t|x)},$$

де  $\hat{\theta} = \hat{\theta}^{GML}$  – оцінка максимальної правдоподібності вектора параметрів.

В одновимірному випадку  $\theta = \theta_2$  і умовний розподіл задається моделлю  $F(t|x) = g(\theta_0 + \theta_1 t + \theta_2 x)$ , зі щільністю  $f(t|x) = \theta_1 g'(\theta_0 + \theta_1 t + \theta_2 x)$ . Оскільки задана випадкова цензурована справа вибірка, то умовна функція правдоподібності (ФП) є добутком членів, що включають умовну щільність. Для нецензурованих даних та умовної функції виживання:

$$L(Y, X, \theta) = \prod_{i=1}^n f(Y_i | X_i)^{\delta_i} (1 - F(Y_i | X_i))^{1-\delta_i},$$

де  $Y_i$  – строк обслуговування  $i$ -го спостереження до настання ризику, а  $\delta^i$  – індикатор настання ризику для  $i$ -го спостереження. Логарифмічна ФП приймає вигляд:

$$\begin{aligned} l(\theta) &= \ln(L(Y, X, \theta)) = \sum_{i=1}^n [\delta_i \ln(f(Y_i | X_i)) + (1 - \delta_i) \ln(1 - F(Y_i | X_i))] = \\ &= \sum_{i=1}^n [\delta_i \ln(\theta_1 g'(\theta_0 + \theta_1 Y_i + \theta_2 X_i)) + (1 - \delta_i) \ln(1 - g(\theta_0 + \theta_1 Y_i + \theta_2 X_i))] = \\ &= \sum_{i=1}^n \delta_i [\ln(\theta_1) + \ln(g'(\theta_0 + \theta_1 Y_i + \theta_2 X_i))] + \sum_{i=1}^n (1 - \delta_i) \ln(1 - g(\theta_0 + \theta_1 Y_i + \theta_2 X_i)). \end{aligned}$$

Оцінка параметрів визначається в результаті максимізації логарифмічної ФП:  $\hat{\theta}^{GML} = \arg \max_{\theta} l(\theta)$ .

### 2.3. Побудова непараметричної моделі оцінювання фінансових ризиків.

$$\hat{S}_h(t|x) = \prod_{i=1}^n \left( 1 - \frac{I_{\{Y_i \leq t, \delta_i = 1\}} B_{ni}(x)}{1 - \sum_{j=1}^n I_{\{Y_j < Y_i\}} B_{nj}(x)} \right), \text{ де } B_{ni}(x) = \frac{K((x - X_i)/h)}{\sum_{j=1}^n K((x - X_j)/h)}, 1 \leq i \leq n,$$

$$P(\hat{R}^{NPM}(t|x)) = \frac{\hat{F}_h(t+b|x) - \hat{F}_h(t|x)}{1 - \hat{F}_h(t|x)} = 1 - \frac{\hat{S}_h(t+b|x)}{\hat{S}_h(t|x)}.$$

Крок 3. Порівняння моделей та обрання кращої за множиною статистичних критеріїв.

3.1. Обрання кращої моделі на основі критеріїв  $AUC = \int_{\tilde{y} \in \tilde{Y}} Se(\tilde{y}) dFPR(\tilde{y})$ ,

$GINI = 2 \cdot AUC - 1$ ,                      неправильної                      класифікації                      значень  
 $MR = \frac{\text{кількість хибно спрогнозованих значень}}{N}$ ,                      Колмогорова-Смірнова

$KS = \max_{x \in X} |F_B(x) - F_G(x)|$ , Байєса-Шварца  $BSC = N \ln \left( \sum_{k=1}^N e^2(k) \right) + n \ln(N)$ , тощо.

### 3.2. Перевірка гіпотези про однаковий розподіл функцій ризику.

Для порівняння функцій виживання, що були побудовані для різних страт, застосовують: оцінки Каплан-Майєра, LogRank, Wilcoxon.

Оцінка Каплан-Майєра визначається так:  $\hat{S}(t) = \prod_{t_j < t} (1 - \frac{d_j}{n_j})$ , де  $d_j$  – кількість зразків, що вибули під час дослідження (загибель);  $n_j$  – кількість зразків, що знаходяться під загрозою вибування (number at risk).

$$LogRank = \frac{(\sum_{j=1}^r (d_{1j} - e_{1j}))^2}{\text{var}(\sum_{j=1}^r (d_{1j} - e_{1j}))},$$

де  $e_{1j}$  – кількість випадків 1-го виду на  $j$ -му часовому інтервалі;  $r$  – кількість часових проміжків. Цей критерій подібний до  $\chi^2$  і використовується, коли функції ризику однакові, а рівень ризику є константою в часі.

$$\text{Критерій Wilcoxon} = \frac{(\sum_{j=1}^r n_j (d_{1j} - e_{1j}))^2}{\text{var}(\sum_{j=1}^r n_j (d_{1j} - e_{1j}))} - \text{дуже чутливий до зразків, що}$$

цензуються, і використовується на ранніх періодах дослідження.

*Крок 4. Визначення моменту настання ризику.*

Залежно від постановки задачі використовується один з розроблених алгоритмів.

*Алгоритм 1 розрахунку моменту переходу на вищий ступінь ризику.*

Для визначення моменту часу  $t$  для пропорційних ризиків похідна обчислюється наступним чином:

1. Задається вид початкової функції  $\hat{\Lambda}_0(t)$ . Нехай  $\hat{\Lambda}_0(t) = \exp(-a \cdot t)$ , де  $a > 0$ , але невелике значення, щоб  $\hat{\Lambda}_0(t) = \exp(-a \cdot t)$  не швидко падала.
2. Після підстановки  $\hat{\Lambda}_0(t)$ :  $\hat{\Lambda}(t) = \exp(x^T \cdot \beta^{PHM}) \cdot \exp(-a \cdot t)$ .
3.  $\frac{\partial \Lambda(t | x)}{\partial t} = \exp(x^T \cdot \beta^{PHM}) \cdot \exp(-a \cdot t) \cdot (-a) = -a \cdot \exp(x^T \cdot \beta^{PHM} - a \cdot t)$ .

В загальному випадку необхідно обчислити похідну як швидкість зміни ймовірності до критичної ймовірності настання ризику  $P_{\text{крит}}(t)$ :  $\frac{\partial P(t)}{\partial t} = ?$

Якщо задана ймовірність, яка є критичною  $P_{\text{крит}}$ , то

$$P_{\text{поточн}}(t) - P_{\text{крит}} = \Delta P \text{ (запас по ймовірності),}$$

$$t_{\text{крит}} = \frac{\Delta P}{\frac{\partial P(t)}{\partial t}}.$$

4.2. Алгоритм 2 визначення моменту настання критичного (катастрофічного) рівня ризику за втратами:

1. Задається інтервал часу, на якому буде здійснюватись пошук критичного часу  $\Delta T = (0, T)$ .
2. Задається крок збільшення часу  $t := \Delta t$ .
3.  $t := 0$ .
4. Обчислюється величина  $Losses_{потоц}(t)$ .
5. Якщо  $Losses_{потоц}(t) \geq Losses_{крит}$ , то  $t_{крит} := t$  і STOP.
6.  $t := t + \Delta t$ .
7. Якщо  $t \geq \Delta T$ , то STOP і в цьому інтервалі не відбудеться перехід ризику до критичного (катастрофічного).
8. Go to Step 4.

*Крок 5. Визначення ймовірності настання фінансового ризику та можливих втрат.*

За визначенням на кроці 4 часом  $t$  можна обчислити:  $\lambda(t|x)$ ,  $P(t|x)$  і очікувані втрати  $EL$  для допустимого, критичного та катастрофічного рівня ризику в моменти часу  $(t_1, t_2, t_3)$  та відповідних функцій виживання.

$S(t_1|x)$  – функція умовного функціонування системи на рівні допустимого ризику, в якому вона успішно працює до часу  $t_1$ . Розмір можливих втрат оцінюється через недоотримання розрахункового прибутку.

$S(t_2|x)$  – функція умовного функціонування системи на рівні критичного ризику (в момент часу від  $t_1$  до  $t_2$ ). Можливі втрати вираховують з доходу компанії.

$S(t_3|x)$  – функція умовного функціонування системи на рівні катастрофічного ризику (в момент часу від  $t_2$  до  $t_3$ ), коли компанія несе втрати з власного капіталу;

$\lambda(t|x)$  – умовний рівень небезпеки, що призводить до великого відтоку клієнтів і великих фінансових втрат.

Основною перевагою використання запропонованих динамічних функцій є те, що вони дозволяють виконати класифікацію та стратифікацію окремих груп, прогнозувати поведінку і зміну ризику з часом. Застосування побудованих моделей для оцінювання ФР показало практичну доцільність їх використання для прогнозування періоду відтоку клієнтів компаній в телекомунікаційній сфері, оцінювання втрат в часі для сфери послуг, прогнозування, наприклад, втрат на обраному періоді для фінансових організацій.

Так, для моделювання ризиків було використано реальні дані української телекомунікаційної компанії. Оцінювались потенційні втрати компанії через втрату клієнтів і прогнозувалась ймовірність їх відтоку. Статистична інформація про активність 150 тисяч абонентів в мережі протягом 15 місяців зібрана за 84 характеристиками. Було побудовано статистичні моделі за відібраними 10 основними показниками та 5-ма додатковими.

Спочатку здійснювалось статичне оцінювання фінансових ризиків з використанням методів ІАД для прогнозування ймовірності відтоку кожного абоненту та всіх абонентів компанії в цілому. Найкращі результати за

характеристикою AUC показав градієнтний бустинг, а вищу точність моделі показав класифікатор випадковий ліс (табл. 3) [121].

Таблиця 3

Порівняння моделей на тестовій вибірці

Модель	precision	Recall	F1	F0.5	AUC
Градiєнтний бустинг	0,70	0,64	0,66	0,68	<b>0,842 ± 0,005</b>
Випадковий ліс	0,72	0,60	0,65	0,69	<b>0,832 ± 0,008</b>
Нейронні мережі	0,69	0,59	0,63	0,66	<b>0,825 ± 0,007</b>
Логістична регресія	0,63	0,37	0,46	0,55	<b>0,842 ± 0,002</b>

На наступному етапі будувались різні типи моделей непараметричного умовного розподілу. Було побудовано моделі виживання для прогнозування ймовірності продовження обслуговування клієнтів. На рис. 9 можна відстежити потенційний відтік клієнтів через 1–2 місяці, коли закінчуються наперед проплачені суми коштів, акційні пропозиції, тощо.

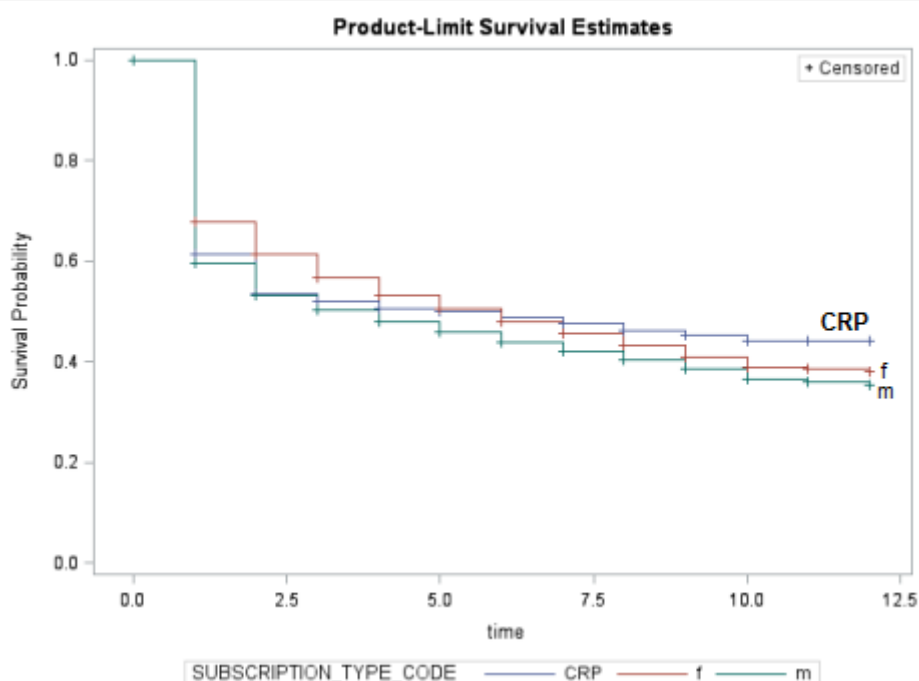


Рис. 9 Графіки функцій виживання для згрупованих даних (CRP – функція виживання для корпоративних клієнтів, f – для жінок, m – для чоловіків)

Результати досліджень опубліковано у [11 – 13, 15, 19, 23, 35, 36, 48 – 51].

**П'ятий розділ** дисертаційної роботи присвячено розвитку принципу адаптації у менеджменті ФР, розробці адаптивної схеми та методу структурно-параметричної адаптації (рис. 10). Особливістю методу є те, що введено два контури адаптації, які дозволяють одразу частково мінімізувати ризик, оскільки зменшується невизначеність, яка спричиняє появу ризиків, через урахування нових даних та збурень на зовнішньому контурі адаптації.

*Крок 1. Попередня обробка вхідних даних.* Перевірка коректності вхідних даних, обробка пропущених значень, видалення некоректних та спотворених даних.

*Крок 2. Статистичний аналіз даних та побудова моделей-кандидаток.*

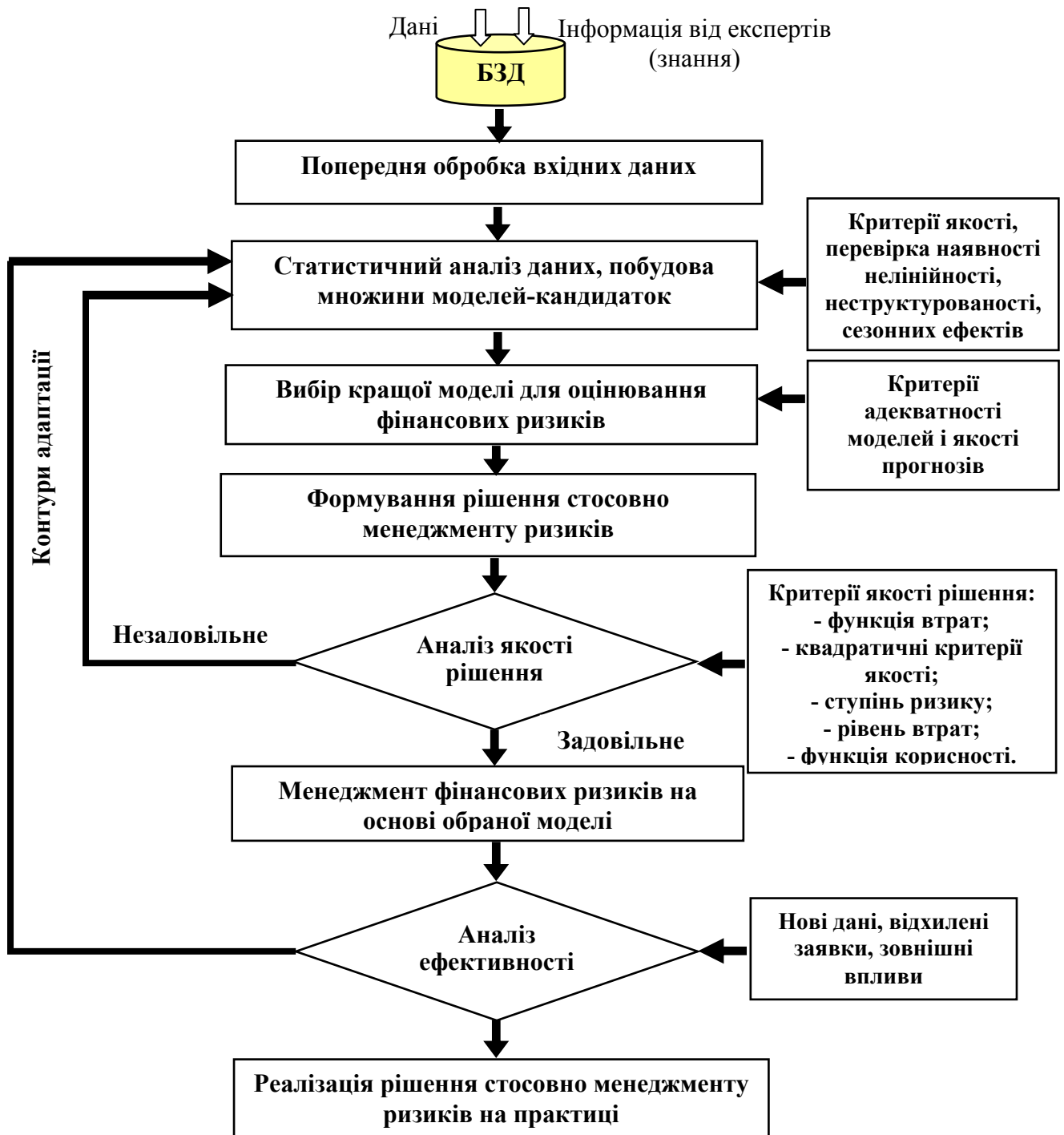


Рис. 10 Алгоритм реалізації процесу моделювання зі структурно-параметричною адаптацією моделей для менеджменту ризиків

2.1. Статистичний аналіз даних і оцінка проценту пропусків; виявлення значущих змінних. Обрахування  $WOE$ , що визначає силу атрибутів змінної у розділенні на визначені класи, та інформаційного значення  $IV$ .

2.2. Формування структури моделей-кандидаток з використанням таких оцінок:

✓ Дискретна функція взаємної кореляції.

✓ Критерій для аналізу нелінійності і нестационарності.

При визначенні нестационарності використовується тест Дікі-Фуллера (ДФТ):

$$\Delta y(k) = \gamma y(k-1) + \varepsilon(k), \quad (21)$$

$$\Delta y(k) = a_0 + \gamma y(k-1) + \varepsilon(k), \quad (22)$$

$$\Delta y(k) = a_0 + \gamma y(k-1) + a_2 k + \varepsilon(k), \quad (23)$$

де  $k$  – дискретний час;  $\gamma = a_1 - 1$  – коефіцієнт у рівнянні:  $y(k) = a_0 + a_1 y(k-1) + \varepsilon(k)$ . Якщо  $\gamma = 0$ , то послідовність  $\{y(k)\}$  містить одиничний корінь. На основі оцінки  $\gamma$  та її стандартної похибки обчислюється  $t$ –статистика, яка порівнюється із значеннями, наведеними в таблицях Дікі-Фуллера.

✓ Урахування *сезонного ефекту* шляхом включення в модель змінної із запізненням, яке відповідає періодичності сезонного ефекту. Сезонний ефект враховується в *адитивній формі* за допомогою основної змінної або випадкової змінної у ковзному середньому, тобто можливі такі структури рівняння:

$$y(k) = a_4 y(k-4) + \varepsilon(k), \quad |a_4| < 1. \quad (24)$$

$$y(k) = \varepsilon(k) + \beta_4 \varepsilon(k-4). \quad (25)$$

Для підвищення ступеня адекватності моделі процесу рівняння (24), (25) розширюються авторегресією та ковзним середнім відповідного порядку:

$$y(k) = a_1 y(k-1) + a_4 y(k-4) + \varepsilon(k) + \beta_1 \varepsilon(k-1),$$

$$y(k) = a_1 y(k-1) + \varepsilon(k) + \beta_1 \varepsilon(k-1) + \beta_4 \varepsilon(k-4).$$

Сезонний ефект можна враховувати, також, у *мультиплікативній формі*:

$$y(k)(1 - a_1 L) = \varepsilon(k)(1 + \beta_1 L)(1 + \beta_4 L^4),$$

або 
$$y(k)(1 - a_1 L)(1 - a_4 L^4) = \varepsilon(k)(1 + \beta_1 L).$$

✓ Для оцінювання параметрів моделей-кандидаток використовуються методи максимальної правдоподібності, нелінійний МНК та Монте-Карло для марковських ланцюгів (МКМЛ), залежно від структури моделі.

### Крок 3. Вибір кращої моделі для оцінювання ФР.

Сукупність моделей-кандидаток дає можливість оцінювати ризики різними методами і у випадку накладання додаткових обмежень, які можуть не дозволити функціонувати одній з моделей, є можливість обрання іншої моделі. Саме тому на попередньому етапі будувалось кілька моделей.

Для оцінювання адекватності моделей використана така сукупність критеріїв якості моделей:  $R^2$ , індекс GINI, інформаційний критерій Акайке, критерій Дарбіна-Уотсона, критерій Байєса-Шварца, доля неправильної класифікації тощо.

Для перевірки якості прогнозних оцінок використано оцінки: середня відсоткова похибка, середня відсоткова абсолютна похибка, середня похибка, середня абсолютна похибка, середньоквадратична похибка, тощо.

### Крок 4. Формування рішення стосовно менеджменту ризиків.

Менеджмент ризиків передбачає оцінювання ступеню (ймовірності) та рівня ризику (можливих втрат). Прийняття рішення щодо менеджменту ризиків означає, що фінансова установа має визначити, чи є заданий рівень ризику допустимим, критичним чи катастрофічним для установи, і для цього здійснюється:

✓ оцінювання ймовірності ризику,  $P = F(x_i, w_i)$ , де  $x_i$  – параметри, що характеризують появу ризику;  $w_i$  – їх ваги;  $F$  – функція певного виду;

✓ розрахунок втрат.



У роботі оцінювання ризиків виконано на основі IRB-підходу:

$EL = \sum_{i=1}^N P(R_i) \cdot CE_i \cdot LGD_i$ , де  $P(R_i)$  – ймовірність (очікувана частота) прояву  $i$ -го виду ризику (наприклад, ризику зниження фінансової стабільності), що набуває значення на відрізку  $[0,1]$ ;  $CE$  – загроза внаслідок реалізації ризику – сума втрат (заборгованості внаслідок реалізації даного ризику);  $LGD$  – покриття ризику страховкою (в разі її наявності), заставою або ефективність запобіжних заходів, що приймає значення від 0 (ризик, повністю покритий заставою) до 1 (ризик, не покритий заставою);  $N$  – кількість типів ризиків.

Крок 5. Аналіз якості рішення.

Для аналізу ризиків використовуються критерії на основі функцій корисності, які формуються через фактори, що безпосередньо оцінюють ефективність менеджменту ризиків через втрати і ймовірність появи ризику.

Функція корисності має вигляд:  $y(x) = \sum_{i=1}^m \alpha_i x_i$ , де  $\alpha_i$  – вагові коефіцієнти,

$\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$ ;  $x_i$  – фактори, які враховують корисність методології менеджменту ризиків:

$x_1 = EL$  – очікувані втрати;  $x_2 = UL$  – неочікувані втрати;  $x_3 = 1 - P(\text{втрат})$ ,  $m = 3$ .

Можливе використання критеріїв оцінювання ризиків через реальні капіталовкладення та втрати. У дисертації запропоновано оригінальний квадратичний критерій якості опрацювання ризику:

$$I_1 = \sum_{k=1}^N [x^T(k) \times R \times x(k) + (y(k) - y_\phi(k))^T Q (y(k) - y_\phi(k)) + z^T(k) \times P \times z(k)] \rightarrow \min_{y,x,z}$$

де  $x^T(k) \times R \times x(k)$  – витрати на інвестиції;  $(y(k) - y_\phi(k))^T Q (y(k) - y_\phi(k))$  – реальні втрати;  $z^T(k) \times P \times z(k)$  – компенсаційні витрати, де  $P, Q, R$  – діагональні матриці вагових коефіцієнтів. Компенсаційні втрати – це втрати на боротьбу з ризиком (внаслідок дій конкурентів, зовнішніх невизначеностей).

Крок 6. Менеджмент ФР на основі обраної моделі в реальному часі.

Краща модель впроваджується в ІСППР для оцінювання ризиків реальної фінансової установи. Здійснюється збір прогностичних оцінок ризиків за обраною кращою моделлю, формується вибірка відхилених заявок та напрацьовуються рішення для випадку переходу ризику із зони допустимого до критичного.

Крок 7. Аналіз ефективності рішень щодо менеджменту ризиків.

Для коректної перевірки запропонованої моделі та прийнятих після її використання рішень на практиці передбачається апробація моделі з урахуванням нових даних, збурень, зовнішніх впливів.

Ефективність методів менеджменту ризиків оцінюється інтегральною характеристикою:  $E = \langle A, F, C, D, I \rangle$ , де  $A$  – адекватність побудованої моделі;  $F$  – прогноз прийнятної якості;  $C$  – прийнятні обчислювальні витрати;  $D$  – рішення, на основі розробленої моделі та прогнозу;  $I$  – узгодженість з даними (1 – дані погоджуються з моделлю; 0 – дані не погоджуються з моделлю).

Якщо модель залишається ефективною, а прийняті рішення коректними, то вона продовжує використовуватись на практиці. Якщо рішення не вважаються коректними, а модель неефективна, то використовується зовнішній контур адаптації. При цьому додатково до історичних даних, на яких будувалась початкова модель, завантажуються нові дані з урахуванням відхилених заявок, оцінок, отриманих даною моделлю, зовнішніх даних, і здійснюється повторно побудова моделей-кандидаток та оцінювання їх параметрів.

*Крок 8. Реалізація рішення для менеджменту ризиків на практиці.*

Якщо модель не змінилась, то використовується та сама скорингова карта. У разі коригування моделі або вибору іншої, нова модель налаштовується в ІСППР.

Результати досліджень, подані у розділі, опубліковано в роботах [3, 21, 43, 45].

**Шостий розділ** присвячений впровадженню розробленої системної методології та запропонованих методів в межах єдиної ІТ, реалізованої у вигляді ІСППР для розв'язання реальних задач. Описано розширену ІТ, що об'єднує методи і моделі динамічного, ймовірно-статистичного, регресійного оцінювання фінансових ризиків, комбіновані методи і моделі відновлення пропущених і втрачених даних, метод структурно-параметричної адаптації. Інформаційна технологія доступна користувачам фінансового підприємства через автоматизовані робочі місця (АРМ). Для надання користувачам доступу до необхідних застосувань (реалізації методів, моделей або формування звітності) адміністратори встановлюють сервер застосувань, сервер бази знань і даних фінансової системи (БЗД ФС) і застосування клієнта на фізичному сервері (рис. 11).

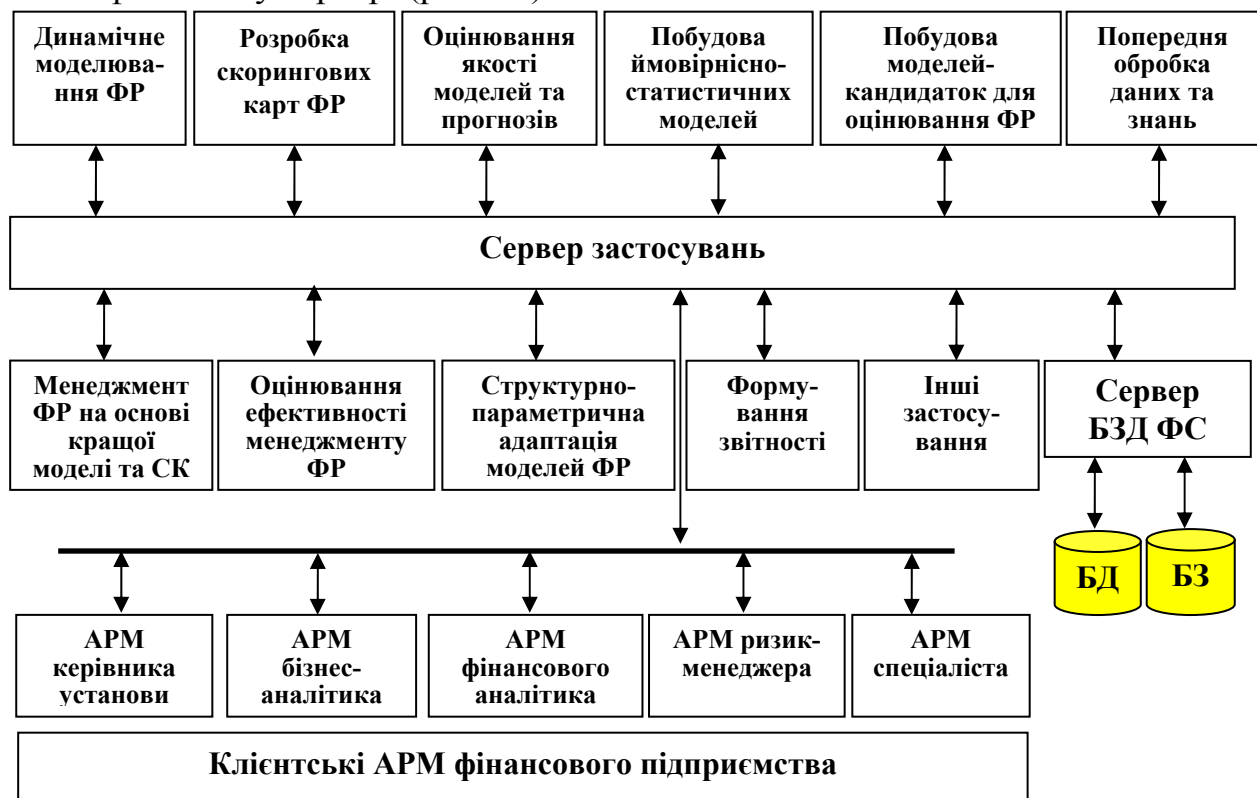


Рис. 11 Клієнт-серверна архітектура розширеної інформаційної технології фінансового ризик-менеджменту

Запропонована ІТ, яка може бути реалізована у вигляді клієнт-серверної архітектури, мікросервісів та хмар. Існує можливість інтеграції і виконання обчислень з використанням сучасних технологій розподілених сервісів та хмар.

Архітектура ІСППР є доволі складною, проте може бути представлена у вигляді сукупності ідеологічно послідовно поєднаних модулів та додатків на основі розробленої системної методології (рис. 12). БЗД ІСППР складається з бази даних (БД), бази знань (БЗ) та бази моделей (БМ), де зберігаються кращі моделі, побудовані для вирішення задач статичного та динамічного оцінювання ризиків.

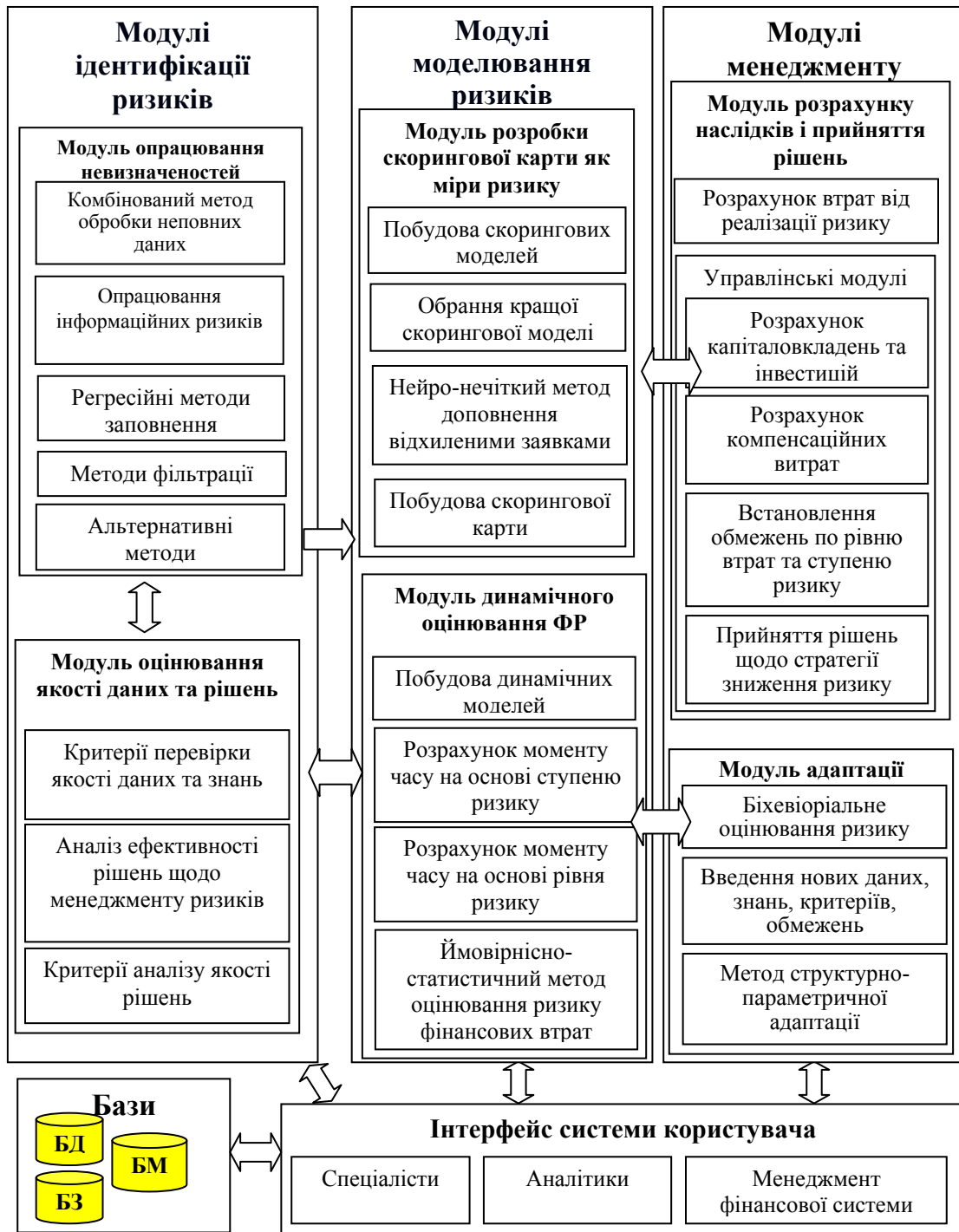


Рис. 12 Розширена структура інформаційної системи підтримки прийняття рішень менеджменту фінансових ризиків

Розширена ІСППР рекомендована для реалізації і впровадження у новий банк, підприємство або фінансову систему, з можливістю виконання всіх етапів менеджменту фінансових ризиків. Доцільною є реалізація інформаційної технології менеджменту ризиків як сукупності застосувань або мікросервісів, щоб забезпечити додавання нових можливостей реалізації функцій та алгоритмів у процесі функціонування системи.

Результати досліджень за розділом опубліковано у роботах [1, 13, 16, 18, 20, 24, 25, 28–30, 45, 49].

У **додатках** наведено класифікації фінансових ризиків, застосування регресійних моделей для прогнозування волатильності, приклади конкретних задач моделювання, оцінювання і прогнозування ФР з використанням запропонованих моделей і методів, програмна реалізація модулів ІСППР, список праць здобувача, а також акти, відгуки і довідки про впровадження результатів дисертаційної роботи.

## ВИСНОВКИ

На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень у дисертаційній роботі вирішено важливу науково-прикладну проблему підвищення ефективності менеджменту ризиків фінансових систем шляхом розробки системної методології дослідження фінансових ризиків та єдиної інформаційної технології менеджменту ризиків.

Основні отримані наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Проведено аналіз сучасного стану проблеми оцінювання ризиків фінансових систем, сутності ризиків, існуючих методів та інструментальних засобів моделювання фінансових ризиків. Складність менеджменту ризиків пов'язана з відсутністю узагальненої методології побудови інформаційних технологій для аналізу ризиків, недосконалістю моделей і методів для оцінювання та прогнозування ризиків з урахуванням неточності та неповноти як вхідних даних, так і критеріїв оцінювання. Показано доцільність розробки системної методології та інструментарію для менеджменту ризиків фінансових систем.

2. Запропоновано і розроблено системну методологію менеджменту фінансових ризиків, яка містить зокрема складові, що враховують багатофакторність ризику, засоби подолання невизначеностей, які притаманні фінансовим процесам, нові запропоновані комбіновані методи і моделі статичного і динамічного оцінювання ризиків, і дозволяє підвищити ефективність опрацювання ризиків фінансових систем. Методологію застосовано під час розробки системи моделювання, оцінювання та менеджменту фінансових ризиків.

3. Показано, що джерелом ризиків у фінансових системах можуть бути неповнота, неточність, нечіткість та недостатня якість інформації. Встановлено комплексний характер фінансового ризику і показано вплив інформаційних ризиків на появу та якість оцінювання ФР та запропоновано критерій їх урахування як складової фінансового ризику.

4. Удосконалено методику оцінювання фінансових ризиків на основі мереж Байєса (динамічних та гібридних), що дозволило здійснювати поглиблений аналіз причин появи невизначеностей даних, враховувати фактор часу при оцінюванні фінансових ризиків та здійснювати динамічне прогнозування ступеню та рівня фінансового ризику.

5. Розроблено комбінований метод обробки неповних даних при моделюванні фінансових ризиків, який дає можливість здійснити глибинний аналіз повноти, інформативності та якості даних, проаналізувати причини появи пропусків за допомогою мереж Байєса та відновити втрачені дані на основі застосування існуючих методів заповнення пропусків, регресійного моделювання та ЕМ-оцінювання.

6. Запропоновано нейро-нечіткий метод доповнення вибірки відхиленнями заявками при моделюванні фінансових ризиків, який передбачає побудову нейронної мережі на навчальній вибірці для оцінювання відхилених заявок і доповнення вибірки при моделюванні фінансових ризиків. Розроблений метод разом зі способом урахування інформаційної складової був включений у методологію застосування скорингової карти як інструменту оцінювання і прогнозування фінансових ризиків та забезпечує підвищення якості оцінок можливих втрат.

7. У системній методології запропоновано і розроблено ймовірнісно-статистичний метод прогнозування ризику фінансових втрат, який дозволяє опрацьовувати неточність та неповноту вхідних даних за рахунок фільтрації даних, прогнозувати одночасно рівень ризику за допомогою регресійних моделей та ймовірність його виникнення в часі завдяки використанню динамічних мереж Байєса.

8. Показано доцільність динамічного аналізу ризиків та розроблено принцип і метод динамічного оцінювання та прогнозування ФР, які передбачають не лише урахування ступеня та рівня ризику у фінансовому ризик-менеджменті, а й фактору часу як моменту переходу на вищий ступінь або рівень ризику. Метод ґрунтується на побудові різних динамічних моделей: параметричних, напівпараметричних та непараметричних, передбачена можливість формування різних моделей для різних страт та розроблено алгоритми визначення критичного часу як на основі допустимого рівня втрат для фінансової системи, так і на основі ймовірності.

9. Узагальнено існуючі критерії оцінювання якості прогнозування та прийнятих рішень і запропоновано критерій якості опрацювання ризику з урахуванням витрачених інвестицій та компенсаційних витрат на подолання невизначеностей та протидію зовнішнім впливам.

10. Запропоновано принцип адаптивного менеджменту ризиків з використанням поведінкових моделей та функцій виживання, який надає можливість здійснювати налаштування параметрів та структури моделей відповідно до зміни навколишнього середовища, надходження нових даних та параметрів. Розроблено новий метод структурно-параметричної адаптації, який відрізняється урахуванням можливих структурних і параметричних невизначеностей моделей і дозволяє здійснювати аналіз фінансових ризиків в реальному часі та коригувати

скорингову модель і скорингову карту ризику, урахувувати нові параметри та змінювати структуру моделі.

11. Запропоновано і розроблено структуру інформаційної технології та функціональний склад розширеної ІСППР нового типу, що відрізняються комплексним застосуванням системного підходу до розробки архітектури, функціональної схеми та процедур аналізу даних, запропонованих ймовірнісно-статистичного, комбінованого, динамічного та структурно-параметричного методів моделювання, і забезпечують можливість генерування множини взаємодоповнюючих альтернатив та об'єктивного вибору кращої з них за допомогою кількох множин статистичних критеріїв якості даних, моделей та прогнозів. Запропонована ІСППР передбачає динамічне оцінювання і прогнозування ризиків і забезпечує адаптацію і побудову нових адекватних математичних моделей фінансових ризиків з урахуванням нових даних, критеріїв, вимог та уточнень.

12. На основі запропонованих методів, моделей і технологій аналізу фінансових ризиків розроблено інструментальні засоби для розв'язання прикладних задач аналізу та менеджменту фінансових ризиків у вигляді інформаційних технологій та ІСППР (клієнт-серверної архітектури, з використанням мікросервісів та хмар). Використання технологій розподілених сервісів та збереження даних у «хмарах» робить такі технології гнучкими і «легкими» завдяки виконанню хмарних обчислень для великих обсягів даних. Застосування мікросервісів, які підключаються до системи за необхідності, дозволяє адаптувати такі технології для використання у вже існуючих системах.

13. Напрацьована системна методологія менеджменту фінансових ризиків та запропоновані методи, принципи і моделі оцінювання ризиків отримали впровадження у таких установах:

- Національному Банку України при розробці методології оцінювання та аудиту комерційних банків;
- компанії ТОВ «САС Інстїтьют ЕЛ.ЕЛ.СІ.» при розробці нових інформаційних технологій та інструментальних рішень для банківської сфери з можливістю біхевіоріального скорингу та динамічного прогнозування фінансових ризиків;
- компанії ТОВ «ЕЛСІКО» при аналізі тендерних закупівель та поведінки учасників торгів на онлайн-платформі ProZorro;
- телекомунікаційній компанії ТОВ «Лайфселл» при прогнозуванні відтоку абонентів та можливих втрат, а також прогнозуванні витрат абонентів при користування мобільними послугами за кордоном, що дало можливість зменшити втрати компанії на 12%;
- іноземній компанії Artcom Venture GmbH при аналізі поведінки клієнтів, що дозволило на 7% підвищити якість прогнозів та збільшити обсяги продажів;
- на кафедрі математичних методів системного аналізу ІПСА НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» при викладанні навчальних курсів «Системний аналіз та прогнозування ризиків», «Прикладні методи прогнозування», «Системний аналіз фінансових ризиків методами штучного інтелекту», «Управління ризиками на фінансових ринках», «Ризик-менеджмент методами інтелектуального аналізу даних».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кузнєцова Н. В., Бідюк П. І. Інформаційна технологія аналізу фінансових даних на основі інтегрованого методу. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2011. № 1. С. 22–33. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, DOAJ, ВІНІТІ, РІНЦ).
2. Бідюк П. І., Кузнєцова Н. В., Терентьєв О. М. Система підтримки прийняття рішень для аналізу фінансових даних. *Наукові вісті НТУУ “КПІ”*. 2011. №1. С. 48–61. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, DOAJ, EBSCO, WorldCat, J-Gate та ін.).
3. Bidyuk P. I., Konovalyuk M. M., Kuznetsova N.V., Pudlo I. V. Adaptive Short-Term Forecasting of Selected Financial Processes. *Research bulletin of NTUU “KPI”*. 2014. N1. P.35–41. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, DOAJ, EBSCO, WorldCat, J-Gate та ін.).
4. Кузнєцова Н. В. Деякі аспекти мінімізації інформаційних ризиків у банківській діяльності. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2014. № 1. С. 7–19. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, DOAJ, ВІНІТІ, РІНЦ).
5. Бідюк П. І., Кузнєцова Н. В. Прогнозирование волатильности финансовых процессов с помощью моделей условной дисперсии. *Проблемы управления и информатики*. 2014. № 5. С. 47–54. (Входить до наукометричних баз **Scopus**, ISI Thomson Reuters, Mathematical Review, Applied Mechanics Reviews, ВІНІТІ, РІНЦ).
6. Кузнєцова Н. В. Практичні підходи до визначення та урахування невизначеностей, що формують фінансові ризики. *Тр. Одес. политехн. ун-та*. 2014. Вып.2 (44). С. 160–170. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, DOAJ, EBSCO, WorldCat, РІНЦ та ін.).
7. Кузнєцова Н.В., Бідюк П. І. Нейронні та мережі Байєса у задачі аналізу кредитних ризиків. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2015. Т.17, №2. С. 61–71. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, ICI World of Journals).
8. Kuznietsova N. V., Bidyuk P. I. Business Intelligence Techniques For Missing Data Imputation. *Research bulletin of NTUU “KPI”*. 2015. N5. P. 47–56. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, DOAJ, EBSCO, WorldCat, J-Gate та ін.).
9. Кузнєцова Н. В. Виявлення та оброблення невизначеностей у формі неповних даних методами інтелектуального аналізу. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2016. № 2. С. 104–115. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, DOAJ, ВІНІТІ, РІНЦ).
10. Kuznietsova N. V. Scoring technology for risk assessment of fraud in banking *CEUR Workshop Proceeding (ISSN 1613-0073)*. 2016. Vol. 1813. P.54-61 [Online]. Available: <http://ceur-ws.org/Vol-1813/paper8.pdf> (last accessed 25.09.2018). (Входить до наукометричних баз **Scopus**, DBLP).
11. Кузнєцова Н.В., Бідюк П. І. Моделювання фінансового ризику в телекомунікаційній сфері. *Наукові вісті НТУУ “КПІ”*. 2017. №5. С. 51–58. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, DOAJ, EBSCO, WorldCat, J-Gate та ін.).
12. Кузнєцова Н. В., Бідюк П. І. Моделирование кредитных рисков на основе теории выживания. *Проблемы управления и информатики*. 2017. №6. С. 33– 46.

(Входить до наукометричних баз **Scopus**, ISI Thomson Reuters, Mathematical Review, Applied Mechanics Reviews, ВІНІТІ, РІНЦ та ін.).

13. Kuznietsova N. V. Information Technologies for Clients' Database Analysis and Behaviour Forecasting. *CEUR Workshop Proceeding (ISSN 1613-0073)*. 2017. Vol. 2067. P.56-62 [Online]. Available: <http://ceur-ws.org/Vol-2067/> (last accessed 25.09.2018). (Входить до наукометричних баз **Scopus**, DBLP).

14. Кузнецова Н. В. Розробка скорингових карт для аналізу ризиків банківської діяльності. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2017. Т.19. №4. С.35–44. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, ICI World of Journals).

15. Кузнецова Н. В., Бідюк П. І. Динамічне моделювання фінансових ризиків. *Індуктивне моделювання складних систем*. 2017. Вип. 9. 2017. С. 122–137.

16. Кузнецова Н. В. Інформаційні технології для аналізу фінансових зловживань на платформі ProZorro. *Наукові праці ВНТУ: електронне наукове фахове видання. Електронні дані*. Вінниця: Вінниц. Нац. тех. ун-т: 2018. №1. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/534/525> (дата звернення 25.09.2018). (Входить до наукометричної бази РІНЦ).

17. Бідюк П. І., Кузнецова Н. В. Ймовірісно-статистичний метод оцінювання ризику фінансових втрат. *KPI Science News*. 2018. №2. С. 7–17. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, DOAJ, EBSCO, WorldCat, J-Gate та ін.).

18. Кузнецова Н. В. Фінансовий ризик-менеджмент з урахуванням інформаційних ризиків. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2018. Т.20. №1. С. 30–39. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, ICI World of Journals).

19. Кузнецова Н. В. Аналіз та прогнозування ризиків шахрайства з кредитними картками. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2018. Т.8, №1. С. 16–25. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, РІНЦ).

20. Кузнецова Н.В., Бідюк П. І. Система підтримки прийняття рішень для аналізу інвестиційних ризиків фінансових ринків. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія «Інформаційні системи та мережі»*. 2018. Вип. 887. С. 115–121.

21. Кузнецова Н.В., Бідюк П.І. Структурно-параметрична адаптація ймовірісно-статистичних моделей для оцінювання фінансових ризиків. *KPI Science News*. 2018. №3. С.23–34. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, DOAJ, EBSCO, WorldCat, J-Gate та ін.).

22. Кузнецова Н. В., Бідюк П. І. Системний підхід до менеджменту фінансових ризиків. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2018. № 2. С. 124–140. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, DOAJ, ВІНІТІ, РІНЦ).

23. Кузнецова Н. В., Бідюк П. И. Выявление рисков мошенничества в ходе тендерных закупок методами теории выживания. *Управляющие системы и машины*. 2018. № 2 (274). С.87–96. (Входить до наукометричної бази РІНЦ).

24. Кузнецова Н. В., Бідюк П. І. Аналіз фінансових ризиків з використанням SAS-технологій обробки даних. *Електротехнічні і комп'ютерні системи*. 2016. № 22(98). С. 267–271. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, РІНЦ, ВІНІТІ).



25. Кузнецова Н. В. Практичне застосування методології розробки скорингових карт для аналізу ризиків автокредитування. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2017. № 24(100). С. 104 – 111. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, РІНЦ, ВІНІТІ).
26. Кузнецова Н. В. Динамічно-рівномірна дискретизація даних у гібридних мережах Байєса. *Вісник Хмельницького Національного Університету*. 2011. №5. Т.3(180). С. 247–251. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, РІНЦ, Polish Scholarly Bibliography).
27. Кузнецова Н. В. Методика оцінювання ризику зниження фінансової стабільності за допомогою мереж Байєса. *Вісник Хмельницького Національного Університету*. 2013. №2. Т.3 (198). С. 187–190. (Входить до наукометричних баз Index Copernicus, РІНЦ, Polish Scholarly Bibliography).
28. Kuznietsova N. Requirements management. *Summer School IT-SEA 5-20 July'14. Report*. Odessa National Polytechnic University. Odessa, 2014. P. 98–121.
29. Kuznietsova N. Project management. Student's hackathon for mobile application *Summer School IT-SEA 5–20 July'14. Report*. Odessa National Polytechnic University. Odessa. 2014. P. 122–130.
30. Кузнецова Н. В. Інформаційні технології обробки та аналізу даних у фінансовому ризик-менеджменті. *Інформаційні технології та спеціальна безпека*. 2015. №1. С. 86–98.
31. Кузнецова Н. В. Скорингові карти для аналізу ризиків банківської діяльності. *Інформаційні технології та спеціальна безпека*. 2018. №1. С. 26–35.
32. Белевець М. С., Бідюк П. І., Кузнецова Н. В. Розробка системного підходу до менеджменту ризиків. *Системні науки та кібернетика*. 2015. №1. С. 30 – 48. URL: [http://mmsa.kpi.ua/sites/default/files/ssc/issues/ssc\\_1\\_2015.pdf](http://mmsa.kpi.ua/sites/default/files/ssc/issues/ssc_1_2015.pdf).
33. Гуськова В. Г., Кузнецова Н. В. Комбінування оцінок прогнозів, обчислених за різними методами для обраних країн світу. *Системні науки та кібернетика*. 2015. №1. С. 49 – 57. URL: [http://mmsa.kpi.ua/sites/default/files/ssc/issues/ssc\\_1\\_2015.pdf](http://mmsa.kpi.ua/sites/default/files/ssc/issues/ssc_1_2015.pdf).
34. Кузнецова Н. В., Кінда В. В. Обробка і аналіз даних обрахунку тепловтрат приміщень у реальному часі. *Системні науки та кібернетика*. 2015. №1. С. 77 – 86. URL: [http://mmsa.kpi.ua/sites/default/files/ssc/issues/ssc\\_1\\_2015.pdf](http://mmsa.kpi.ua/sites/default/files/ssc/issues/ssc_1_2015.pdf).
35. Фомін О. В., Кузнецова Н. В. Скорингові моделі поведінки клієнтів-власників кредитних карток для оцінки їх платоспроможності. *Системні науки та кібернетика*. 2016. № 5. С. 56 – 67. URL: [http://mmsa.kpi.ua/sites/default/files/ssc/issues/ssc\\_5\\_2016.pdf](http://mmsa.kpi.ua/sites/default/files/ssc/issues/ssc_5_2016.pdf).
36. Кузнецова Н. В., Куца К.В., Штогрін С. Р. Застосування методології аналізу виживання для дослідження споживчих ризиків. *Системні науки та кібернетика*. 2017. №6. С. 126–135. URL: [http://mmsa.kpi.ua/sites/default/files/ssc/issues/ssc\\_6\\_2017.pdf](http://mmsa.kpi.ua/sites/default/files/ssc/issues/ssc_6_2017.pdf).
37. Kuznyetsova N. Informational technologies for financial data analysis. *Proc. IV Int. Scientific Conf. "Intelligence, Integration, Reliability"*. Kyiv-Warsaw, April 21–22, 2011). K.: NTUU "KPI". 2011. P. 32–33.

38. Кузнєцова Н. В. Інтегровані моделі аналізу фінансових даних. *Системний аналіз та інформаційні технології (SAIT 2011)*: матеріали XIII міжнар. наук.-техн. конф. (Київ 23–28 травня, 2011 р.). К.: ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”, 2011. С. 274.
39. Кузнєцова Н. Аналіз даних клієнтів за допомогою мереж Байєса. *Комп’ютерні науки та інженерія*: мат. V міжнар. конф. молодих вчених CSE-2011, (Львів, 24–26 листоп. 2011 р.). Вид. Львівської політехніки, 2011. С.50–53.
40. Кузнєцова Н. В. Аналіз і оцінювання інформаційних ризиків. *Системний аналіз та інформаційні технології (SAIT 2013)*: матеріали XV міжнар. наук.-техн. конф. (Київ, 27–31 травня, 2013 р.). К.: ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”, 2013. С. 122–123.
41. Кузнєцова Н. В. Застосування мереж Байєса до оцінювання інформаційних ризиків. *Информационные технологии и безопасность. Оценка состояния*: мат. междун. науч.-практ. конф. ИТБ-2013. (Киев, 18 июня 2013г.). Вип. 13. К.: НАН України. 2013. С. 95–104.
42. Кузнєцова Н. В., Бідюк П. І. Інтегрований підхід до аналізу фінансових ризиків. *Сучасна інформатика: проблеми, досягнення та перспективи розвитку*: матеріали міжнар. наук. конф. (12–13 вересня 2013 року, Київ). Київ: Ін-т кібернетики ім. В.М.Глушкова НАН України, 2013. С. 153–155.
43. Kuznietsova N.V., Bidyuk P.I. Systemic approach to estimation of financial risks. *Науково-технічна конференція «Інформатика, математика, автоматика. ІМА:2015* (Суми, 20–25 квітня 2015 року. Сумський державний університет). 2015. С. 46–47.
44. Кузнєцова Н. В. Питання якості, конфіденційності та коректності даних в інформаційних технологіях аналізу фінансових ризиків. *Информационные технологии и безопасность*: мат. междун. науч.-практ. конф. ИТБ-2015 (Киев, 21 октября 2015 г.). Вип. 15. К.: ИПРИ НАН Украины, 2015. С. 131–136.
45. Bidyuk P. I., Kuznietsova N.V. Decision support system for adaptive processes forecasting in various applied areas with alternative techniques. *Геоинформационные системы и компьютерные технологии эколого-экономического мониторинга*: сб. докл. междун. научно-техн. конф. (г. Днепропетровск, 13–15 апреля 2016 г.) / под ред. Л. В. Сарычевой: Электрон. данные. Днепропетровск: ГВУЗ «НГУ» МОН Украины, 2016. URL: [http://gis.dp.ua/conf2016-publications/sections/iad/1\\_Bidyuk\\_Kuznetsova.pdf](http://gis.dp.ua/conf2016-publications/sections/iad/1_Bidyuk_Kuznetsova.pdf).
46. Кузнєцова Н. В. Скорингові карти як інструмент аналізу ризиків. *Системний аналіз та інформаційні технології (SAIT 2016)*: матеріали 18-ї міжнар. наук.-техн. конф. (Київ, 25 – 29 травня 2016 р.). К.: ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2016. С. 106 –107.
47. Кузнєцова Н. В. Скорингові технології оцінювання ризиків шахрайства в банківській діяльності. *Информационные технологии и безопасность*: мат. междун. науч.-практ. конф. ИТБ-2016. (Киев, 1 декабря 2016 г.) К.: ИПРИ НАН Украины, 2016. С. 43 – 47.
48. Кузнєцова Н. В., Бідюк П. І. Математичні моделі виживання для прогнозування фінансових ризиків. *Моделирование та прогнозування економічних процесів*: матеріали XI науково-практичної конференції. (Київ, 6–8 грудня 2017р.). К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. С. 47–48.

49. Кузнєцова Н. В. Інформаційні технології аналізу клієнтської бази абонентів та прогнозування їх поведінки. *Информационные технологии и безопасность*: мат. междуна. науч.-практ. конф. ИТБ-2017 (Київ, 30 ноября, 2017 г.). К.: ИПРИ НАН Украины, 2017. С. 114 – 120.

50. Кузнєцова Н. В., Фомін О. В. Прогнозування ризику втрати користувачів онлайн-платформи. *Системний аналіз та інформаційні технології (SAIT 2018)*: матеріали 20-ї Міжн. науково-техн. конф., (Київ 21–24 травня, 2018 р.). К.: ННКА «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2018. №20. С. 139–140.

51. Kuznietsova N., Bidyuk P. Forecasting of Financial Risk Users' Outflow. *IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)*, (Kyiv: 08–12 October). 2018. P.250–255. DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8516782>. (Входить до бази **Scopus**).

52. Kuznietsova N., Seebauer M., Zabiellin S. Some Methods for Estimating Financial Risks in Banking. *IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)*, (Kyiv: 08–12 October, 2018) 2018. P.271–274. DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8516873>. (Входить до бази **Scopus**).

53. Бідюк П. І., Коршевніук Л. О., Кузнєцова Н. В. Моделі і методи прикладної статистики: **навч. посіб.** з грифом МОН України. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. 722 с.

## АНОТАЦІЯ

**Кузнєцова Н. В. Методи і моделі аналізу, оцінювання та прогнозування ризиків у фінансових системах.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.04 – системний аналіз і теорія оптимальних рішень. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Міністерство освіти і науки України, Київ, 2018.

У дисертаційній роботі розроблено системну методологію аналізу та оцінювання фінансових ризиків, яка ґрунтується на принципах системного аналізу та менеджменту ризиків, а також запропонованих принципах адаптивного та динамічного менеджменту ризиків. Методологія включає: комбінований метод обробки неповних та втрачених даних, ймовірно-статистичний метод оцінювання ризику фінансових втрат, динамічний метод оцінювання ризиків, який передбачає побудову різних типів моделей виживання, метод структурно-параметричної адаптації, застосування скорингової карти до аналізу ризиків фінансових систем і нейро-нечіткий метод доповнення вибірки відхиленнями заявками. Містить критерії урахування інформаційного ризику, оцінки якості даних, прогнозів та рішень, квадратичний критерій якості опрацювання ризику та інтегральну характеристику оцінювання ефективності методів менеджменту ризиків.

Практична цінність одержаних результатів полягає у створенні розширеної інформаційної технології та інформаційної системи підтримки прийняття рішень на основі запропонованої системної методології.

**Ключові слова:** системна методологія, фінансові системи, динамічне оцінювання фінансових ризиків, скорингові карти, структурно-параметрична

адаптація, інформаційні ризики, мережі Байєса, ймовірно-статистичний метод оцінювання ризику фінансових втрат, комбінований метод обробки неповних даних, квадратичний критерій якості опрацювання ризику, принцип інтегрованого динамічного оцінювання ризиків.

### АННОТАЦИЯ

**Кузнецова Н. В. Методы и модели анализа, оценивания и прогнозирования рисков в финансовых системах.** – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.05.04 – системный анализ и теория оптимальных решений. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Министерство образования и науки Украины, Киев, 2018.

В диссертационной работе разработана системная методология анализа и оценки финансовых рисков, основанная на принципах системного анализа и менеджмента рисков, а также предложенных принципах адаптивного и динамического менеджмента рисков. Методология включает: комбинированный метод обработки неполных и утерянных данных, вероятностно-статистический метод оценки риска финансовых потерь, динамический метод оценки рисков, который предусматривает построение различных типов моделей выживания, метод структурно-параметрической адаптации, применение скоринговой карты к анализу рисков финансовых систем и нейро-нечеткий метод дополнения выборки отклоненными заявками. Содержит критерии учета информационного риска, оценки качества данных, прогнозов и решений, квадратичный критерий качества обработки риска и интегральную характеристику оценки эффективности методов менеджмента рисков.

Практическая ценность исследования заключается в создании расширенной информационной технологии и информационной системы поддержки принятия решений на основе предложенной системной методологии.

**Ключевые слова:** системная методология, финансовые системы, динамическая оценка финансовых рисков, скоринговые карты, структурно-параметрическая адаптация, информационные риски, сети Байеса, вероятностно-статистический метод оценки риска финансовых потерь, комбинированный метод обработки неполных данных, квадратичный критерий качества обработки риска, принцип интегрированной динамической оценки рисков.

### ABSTRACT

**Kuznietsova N.V. Methods and models for analysis, estimating and forecasting of the risks for financial systems.** – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for scientific degree of Doctor of Technical Sciences on the specialty 01.05.04 – system analysis and the theory of optimal decisions. – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2018.

The thesis is devoted to solving an important scientific and applied problem of creating a systemic methodology for evaluating the risks of financial systems and developing a unified information technology for monitoring and risk management to ensure their minimization, increasing the efficiency for financial risk analysis, estimation and forecasting the risks of financial systems.

Risk assessment of financial systems is usually carried out on the basis of large statistical data volumes with some uncertainty both of the data by themselves and of their collection and processing means. There were also imposed very strict requirements regarding the data quality and volumes for making any forecasts. The requirements for speed, quality, and correct risks' processing in the current competitive environment are constantly increasing, so the task of new methods, models and technologies developing is urgent in order to support the adoption of managers' decisions in dealing with risks.

The scientific novelty of the work is determined by the following theoretical and practical results obtained by the author. The developed system methodology of financial risks investigation and evaluation is based on the basic principles and procedures of system analysis and takes into account the basic principles of risk management. The system methodology combines static and dynamic evaluation. The peculiarity of the static evaluation is the expansion of the use of a scorecard to the risks' analysis of various types, developed neural-fuzzy method of incorporating previously rejected data, the application of the developed criteria for taking into account information risk as a manifestation of various types of uncertainties and external influences and information threats. The use of the own combined method of processing incomplete data for financial risks modeling allowed to carry out a deep analysis of the completeness, informativeness and quality of data. It also gives the possibility to analyze the causes of the gaps occurrence and carry out their recovering by constructing a set of regression models and selecting the best model.

The dynamic evaluation is based on the proposed dynamic assessment and adaptive risk management principles. The probabilistic-statistical method of estimating the risk of financial losses based on the combined use of optimal filter, regression and Bayesian analysis. Using of the Bayesian dynamic network allows estimate dynamically the losses from the financial risk realization. Various types of combined models on the basis of the method have been developed.

In the manuscript a dynamic method for risk assessment was developed which allows the construction of different survival models types (parametric, nonparametric), with the ability to predict the risk level and the degree, and the moment which characterize the permissible, critical or catastrophic level of risk. Algorithms for determining the moment of risk occurrence by the given critical (catastrophic) risk degree or level were developed.

The adaptive principle of the financial risks' management and structural and parametric adaptation method were developed. They allow take into account the existence of uncertainties, non-stationary features, season effects, nonlinearity for financial processes. The method of structural and parametric adaptation contains the original quadratic criteria of the risk quality processing.

In the dissertation the extended information technology and information decision support system (IDSS) were created on the basis of the proposed system methodology and developed methods. The proposed information technology can be implemented in the form

of client-server architecture, microservices and clouds; it is flexible and adaptive both to the practical tasks and to the integration into the existing enterprise information system.

The practical significance of the obtained results are: development of the methodology for the financial risks systemic analysis in the presence of uncertainties using the methods of dynamic financial risks estimation and forecasting, taking into account the time and evaluation of the moment of risk transition to a higher degree. As a practical solution of the problem of incompleteness of data it was proposed the methodology of missing values processing and recovering. It was proposed the authors' combined probabilistic regression method for imputation the lost data. An important practical result is development of information technology and information decision support system based on the proposed models and methods, which allows improve the efficiency of processing various types of financial data, to perform an analysis of financial and information risks. The developed IDSS components for behavioral models have allowed identify the customers with the outflow risk, rank them for expected losses, and evaluate financial position of a company as a whole due to the total amount of possible losses.

The offered methods and models are brought to the level of practical realization and provide an increase in the quality of estimations of possible losses due to consideration of the information component in the models of the financial risks' evaluation and management. The results of the thesis fulfillment were used and implemented at the National Bank of Ukraine, companies SAS Institute LLC, ELSIKO LLC, telecommunication company, LLC Lifecell, foreign company Artcom Venture GmbH and in the educational process of the Department of MMSA IASA NTUU "Igor Sikorsky KPI", which is confirmed by the relevant acts and certificates of implementation.

**Keywords:** system methodology, financial systems, dynamic assessment of financial risks, scoring cards, structural and parametric adaptation, information risks, Bayesian networks, probabilistic statistical method for estimating the risk of financial losses, combined method of processing incomplete data, quadratic risk quality assessment criterion, principle of Integrated Dynamic Risk Assessment.